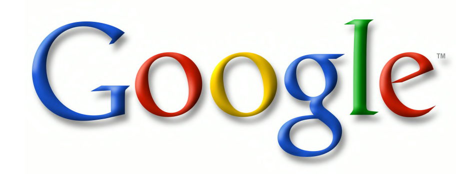

Google

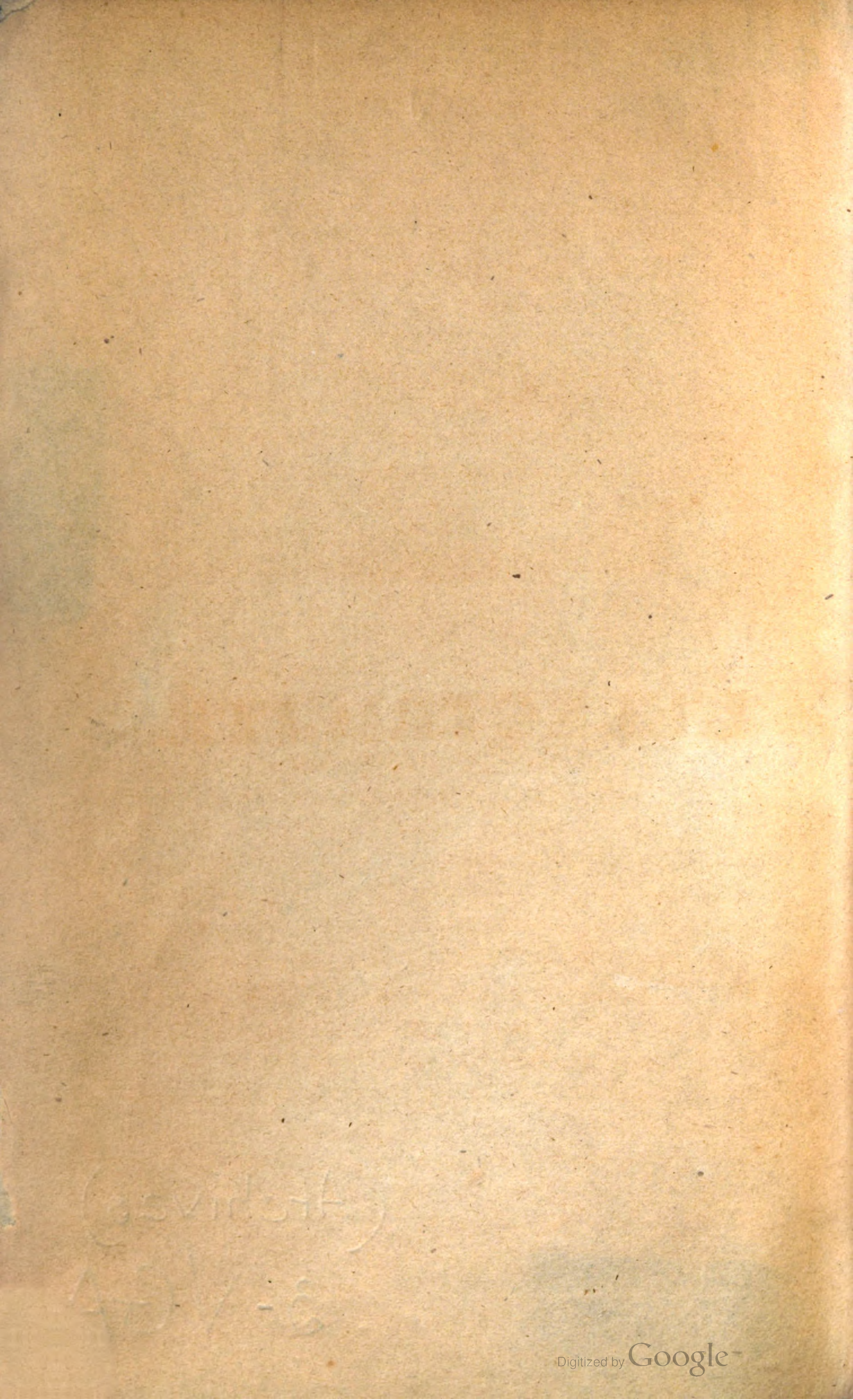

Archives
de
l'Électricité
Tome 1
1841



ARCHIVES

DE

L'ÉLECTRICITÉ



ARCHIVES

DE

L'ÉLECTRICITÉ.

Imprimerie de Ferd. Ramboz, rue de l'Hôtel-de-Ville, n. 78.

ARCHIVES

DE

L'ÉLECTRICITÉ,

PAR

Mr A. DE LA RIVE,
Professeur de Physique à l'Académie de Genève.

SUPPLÉMENT

A LA

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE DE GENÈVE.

Tome Ier. — Année 1841.

On souscrit à Genève,
AU BUREAU DE LA BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE
CHEZ B. GLASER,
Rue de la Pélisserie, n° 133.

PARIS,
CHEZ ANSELIN, SUCCESSEUR DE MAGIMEL,
Rue Dauphine, n. 36.

1841

ARCHIVES DE L'ÉLECTRICITÉ.

COUP D'OEIL SUR L'ÉTAT ACTUEL DE NOS CONNAISSANCES EN ÉLECTRICITÉ, par M. le Prof. A. DE LA RIVE.

Il y aura bientôt un siècle que trois physiciens réunis à Leyde découvrirent cet appareil électrique auquel on donna plus tard le nom de bouteille de Leyde. La science de l'électricité ne se composait alors que d'un bien petit nombre de notions : l'attraction des corps légers par les substances électrisées, la distinction des corps en conducteurs et non-conducteurs, celle des deux électricités en *vitrée* et *résineuse*, enfin, la production de quelques effets lumineux par l'électricité. Mais, à dater du milieu du dernier siècle, les progrès furent rapides. Pendant que Franklin, saisissant l'analogie que semblait présenter l'étincelle de la bouteille de Leyde avec les effets de la foudre, découvrait dans l'électricité la cause de l'éclair et du tonnerre, Æpinus, Wilson, Priestley étudiaient dans leurs laboratoires les effets et les lois de ce mystérieux agent. A la fin du siècle, Coulomb semblait, par l'exactitude et la rigueur de ses recherches, avoir amené à ses dernières limites la partie expérimentale de l'électricité, quand un fait observé par un physiologiste italien vint ouvrir des routes toutes nouvelles. La découverte de Galvani devait conduire bientôt, d'une part, à celle de la pile voltaïque, et d'autre part à celle des phénomènes électro-physiologiques ; deux conséquences également fertiles en beaux résultats que recélait l'expérience de la grenouille du physicien de Bologne. Volta, par la puissance de son génie, sut saisir la première et associa son nom pour toujours à celui de cet in-

strument admirable dont il dota la science. Plusieurs autres savants entrevirent la seconde, mais leurs travaux moins brillants et, il faut le reconnaître, moins importants que ceux de Volta, restèrent longtemps presque inaperçus.

La pile voltaïque, cet appareil dont l'emploi me paraît être l'un des traits caractéristiques des travaux scientifiques de notre siècle, est née avec lui. C'est en 1800 que Volta quitte Pavie pour porter lui-même sa découverte à Paris. A peine connu, cet instrument nouveau est bientôt entre les mains de tous les physiciens et de tous les chimistes. On s'en sert, en Angleterre, pour décomposer l'eau et les solutions salines; on démontre, en Suède, cette propriété remarquable en vertu de laquelle ce puissant appareil non-seulement sépare les uns des autres, mais isole, en les transportant, les élémens des corps. Puis Davy, par le même trait de génie qui avait amené Volta à saisir la conséquence de l'expérience de Galvani, saisit à son tour les conséquences que renferme la découverte de la pile. Il analyse l'action chimique si mystérieuse de cet appareil, montre que la pile ne crée rien, mais que rien ne résiste à sa puissance de décomposition, et parvient enfin, au moyen de la pile, à enrichir la chimie de nouveaux métaux et de théories nouvelles qui changent complétement la face de cette science.

Le mouvement imprimé par les découvertes successives de Volta et de Davy se propage partout: Gay-Lussac et Thénard publient leurs recherches physico-chimiques; Berzélius établit la théorie électro-chimique; Ritter découvre les piles secondaires, Deluc et Zamboni les piles sèches, etc. L'étude de la chaleur développée par l'électricité de la pile donne lieu à des travaux non moins remarquables. La fermentation est générale; chacun sent que la pile est une mine de découvertes dont l'exploitation commence à peine.

Le pressentiment de quelque grande découverte était alors dans tous les esprits, et je n'en veux pour preuve que le nombre considérable de beaux travaux qui suivirent immédiatement

l'apparition de la grande découverte de 1820. Sans doute l'étonnement fut grand quand Oersted annonça quelle était cette relation si longtemps cherchée entre le magnétisme et l'électricité ; mais à cette première impression d'étonnement, j'ajouterai d'admiration, succéda bien vite un immense mouvement scientifique. Arago entre le premier dans la lice en démontrant dans le courant électrique la propriété de l'aimantation. Ampère n'attend pas longtemps, et un mois s'était à peine écoulé depuis l'apparition de la découverte d'Oersted qu'il avait déjà posé les bases de l'électro-dynamique, cette science toute nouvelle qu'il a entièrement créée. Qui pourrait douter que le génie puissant d'Ampère n'eût pressenti dès longtemps ce que le sujet dont il venait de s'emparer, et dont dans un mois il avait pu faire une science, renfermait de découvertes et de vérités nouvelles? La promptitude de conception qui caractérise les hommes de génie n'est pas toujours, comme on le croit trop communément, le résultat d'une illumination soudaine qui, semblable à l'éclair, jette tout à coup un brillant éclat; c'est bien plus souvent le résultat d'une profonde méditation antérieure, quelquefois latente et qui n'attend qu'une occasion pour porter ses fruits. L'expérience d'Oersted c'est, pour les travaux d'Ampère, l'étincelle qui a mis le feu à ce foyer préparé depuis longtemps, et auquel il ne manquait plus qu'une circonstance favorable pour s'enflammer et pour jeter la vive lumière dont il a été la source.

De 1820 à 1825 les recherches se succèdent avec rapidité. Faraday, marchant sur les traces d'Ampère, découvre une nouvelle forme de l'action mutuelle du magnétisme et de l'électricité, la forme rotatoire, et, piquant au jeu le savant français, il fait jaillir de son esprit créateur de nouvelles découvertes. Schweigger invente en Allemagne le galvanomètre; Seebeck découvre la pile thermo-électrique; Becquerel, en France, donne les lois du thermo-électrisme, il démontre la production de l'électricité par les actions chimiques, par le frottement des métaux, par la pression et le clivage; il applique les petites forces

électriques à la décomposition des solutions salines, et à la production de composés secondaires, etc.

Cet élan imprimé dans une certaine direction déterminée n'avait point cessé et devait durer encore, quand, en 1825, une découverte d'un autre ordre vint fixer l'attention et faire envisager le magnétisme sous un jour tout nouveau. Je veux parler de cette action mutuelle des corps naturels et des aimants qui naît de leur mouvement relatif, et que M. Arago fit connaître à l'époque que je viens de rappeler. Je ne puis m'arrêter sur ce sujet, ni décrire ici la manière remarquable dont M. Arago analysa l'action dont il avait le premier démontré l'existence. Plus tard, en 1832, Faraday fut conduit à découvrir un phénomène du même ordre dans la production des courants électriques par induction ; et la notion de l'influence du mouvement mécanique sur les phénomènes du magnétisme et de l'électricité, introduite pour la première fois par M. Arago, devint ainsi fertile en conséquences d'une grande importance.

Je suis obligé d'omettre, dans cette rapide revue, la plupart des travaux qui signalèrent la période que je viens de parcourir. Toutefois qu'il me soit permis de rappeler que la partie purement physique du sujet ne fut pas la seule qui occupa les savans. Je pourrais également, en effet, parler des recherches nombreuses qui eurent pour objet l'étude des rapports qui existent entre les forces électriques et les forces chimiques ; je pourrais citer les applications de l'électricité à la physiologie, et les essais plus ou moins heureux par lesquels on s'efforça de découvrir le rôle de l'électricité dans les phénomènes organiques. Il me faudrait rappeler les travaux relatifs à la théorie de la pile, ceux qui eurent pour objet les effets calorifiques et lumineux de cet appareil et de l'électricité des machines ordinaires. Enfin, l'influence de l'électricité sur la phosphorescence, l'étude de l'électricité atmosphérique, celle surtout du magnétisme terrestre qui a occupé et occupe encore dans cet instant tant d'observateurs, m'amèneraient à énumérer encore bien des travaux, à

citer bien des noms. Je ne puis, dans le cadre restreint d'où je ne dois pas sortir, aborder aujourd'hui tous ces détails, même d'une manière sommaire. Je vais me borner à essayer de rappeler en peu de mots l'état auquel la marche de la science a amené, à la fin de 1840, les questions les plus importantes de l'électricité. Il me semble qu'au début d'une entreprise qui a pour but essentiel de suivre régulièrement, et aussi complétement que possible, les progrès que feront à l'avenir l'électricité et le magnétisme, il est convenable de bien déterminer le point de départ. C'est ce que je vais tenter en cherchant à distinguer les faits qu'on peut considérer comme acquis à la science, de ceux qui sont encore à étudier. Je ne me dissimule point la difficulté de cette tâche, ni l'imperfection que présentera nécessairement une exposition de ce genre, quand surtout on est obligé de la condenser en un petit nombre de pages.

Considérées en elles-mêmes et dans leurs lois générales, abstraction faite de leurs effets, l'électricité statique et l'électricité dynamique présentent, grâce aux travaux de Coulomb et de Poisson pour la première, et à ceux d'Ampère pour la seconde, un corps de doctrine assez complet et qui laisse peu à désirer. Cependant les découvertes de Faraday sur l'induction, aussi bien en ce qui concerne l'électricité statique que pour ce qui est relatif à l'électricité dynamique, me paraissent avoir ébranlé en quelques points les principes admis sur l'influence à distance de l'électricité en général; il ne serait donc pas étonnant que ce sujet donnât lieu plus ou moins prochainement à quelque travail important. Nous en dirons autant de l'hypothèse des deux électricités dont les lois expérimentales découvertes par Coulomb et par Ampère sont, il est vrai, indépendantes, mais qui sert de base aux théories par lesquelles on cherche à rendre compte de ces lois. Cette hypothèse n'est décidément plus

admise que provisoirement et comme une manière commode de lier les faits ; la science attend une théorie plus plausible, et plus en harmonie avec les idées généralement reçues actuellement sur la nature des agens impondérables.

La connexité qui existe entre le magnétisme et l'électricité dynamique paraît être bien démontrée, et la théorie d'Ampère sur la constitution des aimants est généralement admise. Cependant il y a encore quelque chose de mystérieux dans cette constitution même. Pourquoi l'acier, le fer, le cobalt et le nickel sont-ils les seuls métaux susceptibles d'aimantation? A quoi tient la puissance énorme d'aimantation que des courants électriques développent dans le fer doux? Les expériences par lesquelles M. Savary a démontré la curieuse influence de la distance sur l'aimantation que les aiguilles d'acier reçoivent des décharges électriques, n'indiquent-elles pas l'existence d'une force mal connue? Voilà encore bien des questions à résoudre ; elles touchent à ce lien si difficile à trouver qui existe entre le magnétisme et la constitution moléculaire des corps. N'y a-t-il pas aussi des points importants à éclaircir dans cette influence si remarquable du mouvement sur tous les phénomènes magnétiques?

Les rapports qui existent entre l'électricité d'une part, et le calorique, les actions mécaniques et les actions chimiques d'autre part, sont nombreux. Ils sont à la fois ceux de causes et d'effets, c'est-à-dire que la chaleur, les actions mécaniques et les actions chimiques peuvent être à la fois cause et effet de l'électricité. L'étude de ces rapports est la partie de l'électricité où il y a probablement encore le plus de recherches à faire ; c'est cette étude qui pourra conduire, tôt ou tard, à la connaissance de la véritable cause des phénomènes qui dépendent de l'action des fluides dits impondérables. C'est par elle qu'on arrivera une fois à ramener à une origine commune ces agens connus sous le nom de magnétisme, d'électricité, de calorique, de lumière et d'affinité chimique.

Examinons rapidement quel est actuellement l'état de la

science sous les trois chefs que je viens d'indiquer : rapport entre l'électricité et le calorique, rapport entre l'électricité et les actions mécaniques, rapport entre l'électricité et les actions chimiques.

J'aborde le premier chef. — L'électricité en mouvement produit de la chaleur dans certaines circonstances déterminées ; ces circonstances dépendent de la source d'où émane cette électricité et de la nature du trajet qu'elle a à parcourir ; la chaleur peut même être assez intense pour produire de la lumière. On connaît quelques-unes des lois de ce développement de chaleur : on sait qu'il a surtout lieu dans la partie du circuit où la résistance est le plus grande ; on sait également qu'il exige, pour être intense, que le reste du circuit présente seulement la résistance nécessaire pour que celle qui a lieu aux points échauffés puisse être surmontée. Les travaux récens de M. Riess ont fait faire de grands pas à la question qui nous occupe, en ce qui concerne du moins les effets calorifiques des décharges électriques instantanées, sujet qu'on avait négligé depuis Priestley. Ces travaux ont démontré, dans la quantité de chaleur qui est développée par la même décharge, une constance remarquable et indépendante des modifications qu'apportent à sa distribution des variations dans la nature et la disposition des conducteurs ; mais l'étude des circonstances qui déterminent et modifient la chaleur dégagée par l'électricité provenant de sources de différens genres, laisse encore beaucoup à désirer. L'origine de l'électricité influe-t-elle par elle-même, et indépendamment de toute autre circonstance, sur la chaleur que cette électricité produit? ou bien, cette chaleur ne dépend-elle que de la résistance qu'offre le circuit et de la quantité d'électricité qui est dégagée par une source quelconque dans un temps donné ? Les physiciens allemands sembleraient être favorables à cette dernière opinion ; mais c'est un point fort important qui ne me paraît pas encore être bien éclairci, et qui exige de nouvelles recherches. J'en dirai autant de ce fait

curieux, découvert par M. Peltier, savoir que dans certaines circonstances un courant électrique peut produire du froid, fait confirmé par les expériences de M. Lenz et qui n'a point encore été expliqué.

Il y a une analogie frappante entre le phénomène que je viens de rappeler et la production de l'électricité dans les circuits thermo-électriques. Un courant électrique, en traversant un circuit composé de métaux hétérogènes, détermine des différences de température dans les points de soudure; une différence de température dans ces mêmes points détermine, à son tour, un courant électrique. Le rapport que je signale, mériterait d'être étudié; il compléterait heureusement les données que la science possède déjà sur le pouvoir thermo-électrique des corps. M. Becquerel en effet a déjà établi, par ses beaux travaux, la liaison qui existe entre le pouvoir thermo-électrique et les autres propriétés des corps, telles que leur pouvoir rayonnant, leur conductibilité et leur chaleur spécifique. Peut-être la considération de la constitution atomique des corps, qui est d'une si grande importance quand on cherche les lois qui régissent leur chaleur spécifique, pourrait-elle aussi conduire à quelque résultat intéressant en ce qui concerne leur pouvoir thermo-électrique. J'en dirai autant de leur constitution physique, c'est-à-dire de leur structure ou du mode de groupement de leurs particules. On sait déjà l'influence qu'exerce cette dernière circonstance sur l'électricité développée dans les cristaux; il est probable qu'elle ne doit pas être négligée, même lorsqu'il s'agit de substances non cristallisées.

J'aborde le second chef, en remarquant que c'est aussi à la fois dans la constitution physique et dans la composition chimique des corps, qu'il faut chercher les lois du développement de l'électricité par les actions mécaniques. Ces lois sont encore bien mal déterminées; le frottement, la pression, la désagrégation développent de l'électricité. Coulomb, Becquerel, Péclet et d'autres encore ont découvert quelques-unes des lois qui ré-

gissent ce développement; mais on n'est point encore parvenu à trouver la loi générale qui lie l'effet électrique observé avec la nature du mouvement imprimé aux particules par l'action mécanique qui les sollicite. Ce sujet touche à la physique moléculaire, partie de la science encore bien peu avancée; c'est ce qui explique que, bien qu'elle ait été connue longtemps avant les autres, la production de l'électricité par le frottement est, de toutes les sources de cet agent, celle dont les lois sont le moins bien définies. Peut-être ne sera-ce pas encore de longtemps qu'on pourra espérer de voir, à cet égard, la science faire de véritables progrès.

Les actions mécaniques sont, avons-nous dit, non-seulement une source, mais un effet de l'électricité. Le transport des particules, opéré par des décharges électriques sans qu'il y ait aucune action chimique, est un fait qui a été bien constaté, jadis par Priestley, plus récemment par M. Fusinieri; le courant continu peut aussi imprimer un mouvement à des corps liquides placés sur sa route, et même à de petits corps solides suspendus à l'état de poussière dans ces liquides. Mais l'analyse de ces mouvements ne me paraît pas avoir été faite d'une manière encore assez complète. Tout dernièrement, un physicien français, M. Abria, en soumettant des poussières métalliques à l'action de décharges électriques, me paraît avoir fait des essais qui conduiront peut-être à des résultats intéressants. Il va sans dire que je ne comprends pas, sous le titre d'action mécanique de l'électricité, les effets mécaniques qui consistent dans le transport des particules séparées par la puissance chimique du courant, non plus que ceux qui résultent de l'aimantation opérée par ces courants; ce sont des effets mécaniques de l'électricité, qu'on peut considérer comme indirects, et qui se lient à un autre ordre de faits.

J'arrive au troisième chef, c'est-à-dire aux rapports qui existent entre les actions électriques et les actions chimiques, et c'est ici surtout que le sujet me paraît être vaste pour l'avenir

autant qu'il l'est pour le passé. L'électricité exerce une action chimique ; la forme sous laquelle cette action se présente, les lois auxquelles elle est soumise, ont déjà été l'objet de bien des recherches, et cependant tous les jours on y découvre une nouvelle forme, de nouvelles lois. La séparation des éléments et leur transport ont été démontrés par Davy; les circonstances qui permettent et facilitent cette séparation et ce transport ont été analysées par ce célèbre chimiste et par d'autres savants. L'étude plus détaillée de la manière dont les décompositions électro-chimiques s'opèrent, l'influence qu'exercent sur cette classe de phénomènes les conducteurs solides, ont été de ma part l'objet de quelques recherches. Marianini a également traité ce genre de question et s'est occupé, comme moi, des polarités secondaires qu'acquièrent les conducteurs solides dans leur contact avec les liquides pendant le passage du courant. Je viens aussi de reprendre ce dernier sujet, qui avait occupé récemment plusieurs physiciens, tels que Schœnbein, Matteucci et Peltier, et mes recherches qui sont contenues dans ce cahier, montrent le rapport intime que le phénomène des polarités secondaires établit entre les actions chimiques et les actions électriques. Enfin, l'étude même des décompositions électro-chimiques a conduit Faraday à la découverte de l'action définie du courant, et a donné lieu, plus tard, de la part de Matteucci et de Daniell, à des recherches intéressantes sur la manière dont la décomposition s'opère dans des mélanges de plusieurs solutions salines. Becquerel vient aussi de faire une belle application de l'influence des masses sur la décomposition électro-chimique d'un mélange de différents sels, à la mesure des affinités. Enfin, je publie également dans ce cahier, les résultats que j'ai obtenus en faisant intervenir à la fois l'électricité voltaïque et l'électricité par induction, dans la décomposition des solutions conductrices.

Tous les travaux que je viens de rappeler, et bien d'autres encore que je n'ai pas cités, ont-ils résolu la question suivante : Quel est le mode d'action de l'électricité dans les décomposi-

tions électro-chimiques? On peut hardiment répondre que non. Aussi, toutes les théories qu'on a mises en avant pour expliquer cette classe de phénomènes, sont-elles complétement insuffisantes. Ce qui manque, en particulier, c'est de bien connaître l'état dans lequel le corps se constitue quand l'électricité le traverse à l'état de courant, état qui doit être sans doute une sorte d'état vibratoire; ce qu'on ignore, c'est le rôle que jouent les conducteurs sur la surface desquels les produits de la décomposition se déposent. Il faudrait pénétrer, plus intimement qu'on ne l'a fait jusqu'ici, dans la manière dont l'électricité en mouvement affecte les particules mêmes des corps, manière qu'on a trop assimilée, je crois, à l'état de l'électricité de tension. On a fait quelques tentatives, comme je l'ai dit plus haut, pour éclaircir ces différents points, mais on est loin d'avoir obtenu des résultats concluants, et l'on peut dire qu'on a à peine effleuré ce sujet, l'un des plus beaux et des plus féconds de l'électricité.

Ce n'est pas seulement en l'étudiant sous le point de vue que je viens de signaler, qu'on fera faire de véritables progrès à l'électro-chimie; il faut, en outre, porter son attention sur le développement de l'électricité par les actions chimiques. La liaison qui existe entre les deux catégories de faits est trop intime pour qu'il n'y ait pas une véritable dépendance de l'une à l'égard de l'autre; toute théorie qui n'embrassera pas les deux ordres de phénomènes, sera nécessairement imparfaite. Or, on ne connaît jusqu'ici que d'une manière vague les lois du développement de l'électricité par les actions chimiques, les notions de poids et de mesure ne sont pas encore entrées dans cette partie de la science avec la rigueur qui serait nécessaire. On n'a point encore bien déterminé si la nature de l'action chimique n'influe pas, indépendamment de son intensité, sur la quantité et les propriétés de l'électricité qui est développée. La considération des équivalents chimiques ou, ce qui revient au même, des poids atomiques, introduite dans les décompositions électro-chimiques

d'une manière même qui n'est pas encore assez complète, a été presque totalement négligée dans l'étude du dégagement de l'électricité par les actions chimiques. Enfin, l'appréciation de l'influence des très-faibles actions chimiques, qui peut souvent être laissée de côté quand il s'agit des produits mêmes qui résultent de ces actions, ne peut plus l'être, ainsi que j'ai essayé de le démontrer, quand il s'agit de l'effet électrique proprement dit, qui accompagne ces mêmes actions. Ne peut-on pas trouver là, comme j'essaie de le faire voir dans des recherches qui sont insérées plus loin, l'explication de bien des phénomènes?

Il m'est impossible de quitter le sujet qui vient de nous occuper, sans aborder deux questions, dont la solution est encore pendante, malgré les nombreux travaux auxquels elles ont déjà donné lieu : je veux parler de la théorie de la pile, et de la théorie électro-chimique.

Les corps possèdent-ils une électricité qui leur soit propre? Y a-t-il de l'électricité dégagée dans le contact de deux substances hétérogènes? Les effets électriques qui accompagnent toute combinaison chimique, sont-ils la preuve que cette combinaison est due aux électricités contraires que possèdent les atomes qui se combinent, ou ne sont-ils que le résultat de l'affinité chimique qui s'exerce entre ces atomes? L'électricité à laquelle la pile donne naissance est-elle due au contact? L'action chimique y contribue-t-elle soit pour une partie, soit pour la totalité? Voilà autant de points sur lesquels les physiciens ne sont pas d'accord; et quand on songe qu'il en est parmi eux qui vont jusqu'à soutenir que l'action chimique ne dégage pas d'électricité, tandis que d'autres admettent que le contact n'en développe jamais, on peut se faire une idée de la divergence des opinions sur ce sujet. Quoique la mienne soit prononcée en faveur de la théorie purement chimique de la pile, je serai toujours prêt à insérer dans notre recueil, avec une égale impartialité, ce qui lui sera contraire aussi bien que ce qui lui

sera favorable. Je regarde en particulier comme un devoir, de faire connaître les travaux de MM. Marianini, Ohm, Fechner, Pfaff et Poggendorff en faveur de la théorie du contact, en même temps que je publierai les recherches de Faraday, de Schœnbein et les miennes en faveur de la théorie chimique. L'examen des points que je viens de signaler est d'autant plus important, qu'il a pour objet la théorie qui, en expliquant les affinités, est la base de la chimie, et qui donne la clef de l'instrument le plus puissant dont cette science, aussi bien que la physique, puissent faire usage.

Le sujet de la théorie de la pile voltaïque, que nous venons de signaler à l'occasion des rapports qui existent entre les actions chimiques et les actions électriques, appartient également à des questions d'un autre ordre, savoir à celles qui ont pour objet l'influence qu'exercent sur l'électricité déjà produite, les corps qu'elle traverse. La conductibilité électrique, l'étude des causes qui la modifient, le mode de distribution de l'électricité en mouvement, l'appréciation des diverses résistances que le courant électrique peut rencontrer dans son trajet à travers divers systèmes de conducteurs, ont déjà donné naissance à un grand nombre de recherches. Les résultats auxquels on est parvenu, ne sont malheureusement pas encore bien précis ; ainsi il n'y a pas parfait accord entre les divers tableaux numériques qui ont été dressés de la conductibilité relative des corps solides et des liquides. L'influence que des diaphragmes métalliques, interposés dans un liquide conducteur, exercent sur l'intensité du courant transmis, a été l'objet d'une étude détaillée de ma part et de la part de M. Marianini. Nous avons trouvé, chacun de notre côté, que l'action de ces diaphragmes semblait indiquer, dans l'électricité en mouvement, des propriétés analogues à celles que possèdent la lumière et le calorique rayonnant. Nous avons également reconnu la faculté que ces diaphragmes acquièrent, par le fait qu'ils ont transmis le courant électrique, de donner naissance à un courant secondaire. Ce dernier fait

m'a paru, comme je l'ai dit plus haut, être dû à une action chimique du liquide sur les dépôts que le courant qui a transmis les diaphragmes a laissés à leur surface. Ne se pourrait-il pas également que l'effet même des diaphragmes sur l'intensité des courans qui les traversent, provînt de la même cause et non d'une propriété générale, appartenant à l'électricité en mouvement et indépendante de son action chimique? Ce point me paraît tout à fait digne de fixer l'attention des physiciens, car il touche à la nature même de l'électricité en mouvement, qu'on s'est, je crois, trop pressé, et moi tout le premier, de comparer à la lumière et au calorique rayonnant. Je ne présume pas, du reste, que l'étude pure et simple de la conductibilité électrique doive, sauf en ce qui concerne les résultats pratiques, contribuer beaucoup aux progrès de la science de l'électricité. Il vaudrait mieux, au lieu de comparer les divers corps sous ce rapport, chercher à obtenir plus de lumières qu'on n'en a, sur la manière d'être de l'électricité en mouvement dans les diverses substances conductrices, et analyser avec soin, dans ce but, sa distribution et son mode d'action dans une ou deux d'entr'elles. C'est ainsi que tous les travaux qu'on a faits sur la conductibilité des corps par le calorique, n'ont eu quelque valeur qu'après que Biot et Fourrier ont déterminé et analysé la manière dont le calorique se comporte dans une barre métallique prismatique.

Il me reste encore à signaler, dans l'étude de l'électricité et du magnétisme, deux points de vue distincts qui me paraissent être, pour le présent comme pour l'avenir, d'une grande portée. Le premier de ces points de vue est celui qui embrasse l'étude des sources naturelles des deux agents que nous avons nommés; le second, celui qui comprend leurs applications aux arts industriels.

L'électricité se présente dans la nature sous trois formes bien distinctes. L'une de ces formes est celle qu'on nomme *électricité atmosphérique*; l'autre est celle à laquelle on avait donné le nom de *magnétisme terrestre*, nom qu'on lui a con-

servé, même depuis que l'identité entre le magnétisme et l'électricité a été bien démontrée ; la troisième est celle qu'on appelle *électricité animale*, et qui se manifeste par les signes électriques que donnent quelques animaux, et peut-être tous, suivant quelques physiologistes. La véritable différence entre la première et la seconde forme est, au fond, que dans la première l'électricité se présente à l'état de tension, donnant lieu quelquefois à des décharges instantanées et semblables à celles que produisent en petit nos machines électriques ordinaires, tandis que dans la seconde l'électricité n'agit qu'à l'état de mouvement, de la même manière qu'elle agit quand elle est produite dans un circuit fermé, tel que celui d'une pile voltaïque. Quant à la troisième, elle diffère des deux premières essentiellement par son origine.

L'étude de la première forme, soit de l'*électricité atmosphérique*, est une étude difficile et compliquée. Je n'en veux pour preuve que le peu de progrès qu'a faits cette partie de la météorologie, malgré les beaux travaux de Franklin, de De Saussure, de Volta, de Beccaria et de tant d'autres. On sait que l'atmosphère, même à l'état serein, contient de l'électricité ; on sait que les nuages sont en général électrisés, et que c'est à cette électricité que sont dus les effets de l'éclair et du tonnerre ; on pourrait croire que le globe terrestre, lui-même, est doué d'une électricité de tension contraire à celle de l'atmosphère : mais ce fait même n'est pas encore bien prouvé. Voilà ce qu'on sait. Quant à ce qu'on ignore, nous n'essaierons pas d'en faire l'énumération, car cette énumération serait trop longue, et malgré sa longueur, elle serait encore incomplète. Bornons-nous donc à indiquer quelques-uns des déficits de la science à cet égard.

La manière dont l'électricité est distribuée dans l'atmosphère est encore indéterminée ; cela tient à la difficulté qu'on éprouve à distinguer dans les effets accusés par les électromètres atmosphériques, ce qui est dû aux variations d'humidité et de

température qui rendent l'air plus ou moins conducteur, de ce qui provient de l'intensité réelle et variable de l'électricité même. La part que doit avoir dans ces indications le développement à distance par influence des signes électriques, n'a pas pu non plus être encore bien appréciée; enfin, il n'est pas facile de tenir compte du fait que l'observateur opérant sur la surface de la terre, si la terre a une électricité de tension qui lui soit propre, il doit en résulter une complication dans les observations et dans les conséquences qu'on peut en tirer. Mais ce n'est pas tout: les déficits sont encore bien plus grands s'il s'agit de connaître le rôle que joue l'électricité dans la formation des nuages, dans la chute de la pluie et celle de la grêle, rôle qu'il est difficile de méconnaître; et en supposant même que dans tous ces phénomènes météorologiques l'électricité ne soit qu'un effet et non pas une cause, il faudrait tout au moins savoir comment elle est produite, à quel état elle se trouve dans les nuages et la manière dont elle s'y comporte. On vient d'annoncer un ouvrage où tous ces points seront traités en détail: c'est une *Météorologie électrique,* de M. Peltier. Nous attendons avec impatience cet ouvrage, dont nous nous proposons de donner une analyse détaillée dans ce recueil. Le talent d'observation et d'expérimentation dont M. Peltier est doué, nous est trop bien connu pour que nous ne soyons pas convaincu d'avance que cet ouvrage contiendra un nombre considérable de faits intéressants. Toutefois, nous avouerons que l'idée théorique à laquelle M. Peltier paraît se rattacher, nous semble difficile à admettre; savoir, que l'électricité de la terre et celle de l'atmosphère sont dues à l'état électrique positif de tension dont l'espace interplanétaire est doué. Il nous est jusqu'ici impossible de concevoir dans le vide, ou plutôt dans l'espace rempli uniquement de la matière éthérée, autre chose que de l'électricité en mouvement; mais y supposer de l'électricité de tension ou statique, c'est ce qui nous paraît contraire à tous les principes reçus; car comment la terre et l'atmosphère ne se

seraient-elles pas mises depuis longtemps en équilibre électrique avec le milieu dans lequel elles sont plongées? Du reste, il serait prématuré de se permettre un jugement trop absolu sur un seul point de théorie, avant d'avoir connaissance de tous les raisonnements et des observations qui seront présentés à l'appui.

Cette partie de la météorologie a besoin essentiellement, comme les autres, d'observations nombreuses et bien faites. Il est à désirer, qu'à côté des observations barométriques, thermométriques et hygrométriques, on en fasse sur l'électricité atmosphérique, et si l'on peut sur l'électricité du globe ; ce n'est que par la simultanéité de toutes ces observations qu'on pourra arriver à apprécier les circonstances qui influent sur l'intensité de l'électricité naturelle, et peut-être alors, à remonter jusqu'à son origine. — Le vœu que j'exprime a déjà reçu son accomplissement dans plusieurs observatoires : celui de Genève, en particulier, possède un appareil qui permet de suivre avec beaucoup d'exactitude et de régularité l'état électrique de l'atmosphère, qu'on a soin d'observer en même temps qu'on fait les autres observations météorologiques. Nous aurons soin d'insérer dans notre recueil les résultats de ces observations, et de faire connaître également tout ce qu'on fait ailleurs pour jeter du jour sur la question encore si complexe et si peu avancée de l'électricité atmosphérique.

Disons maintenant quelques mots de l'étude de la seconde forme sous laquelle se présente l'électricité naturelle, celle où elle est à l'état de mouvement et qui constitue le *magnétisme terrestre*. Peut-être nous avançons-nous un peu trop, en attribuant le magnétisme terrestre à l'électricité dynamique. Il est bien probable qu'il existe au-dessous de la surface du sol des courans électriques qui proviennent, soit de la constitution même de notre globe, soit de l'action qu'exercent successivement, sur les différentes parties de sa surface, les rayons calorifiques du soleil ; il est possible que le mouvement de la terre

influe sur la direction de ces courans; mais, jusqu'ici, l'existence des courans électriques terrestres ne me paraît pas démontrée d'une manière directe et rigoureuse, et les effets qu'on a observés, en faisant quelques essais dans les mines, sont probablement dus uniquement à des causes locales et accidentelles. C'est donc un point intéressant à éclaircir, que de savoir si réellement on peut s'assurer directement de l'existence des courans terrestres: nous suivrons avec un vif intérêt les travaux qui seront faits dans ce but.

Toutefois, quelle que soit la cause du magnétisme terrestre, il y a une grande importance pour la physique et la géologie à étudier les effets de cette force remarquable; c'est même peut-être le plus sûr moyen d'en découvrir l'origine, que de déterminer avec soin les circonstances qui en peuvent modifier l'intensité et la direction. Au reste, partout actuellement on s'en occupe avec activité. Grâce à l'importance que les travaux de M. Arago ont fait attacher à ce genre d'observations, grâce à l'impulsion donnée par M. de Humboldt, l'Europe se couvre d'observatoires magnétiques, et à tout instant on publie des observations recueillies par des voyageurs. — La déclinaison absolue de l'aiguille aimantée et son inclinaison, ainsi que l'intensité du magnétisme sur chaque point de la surface du globe, les variations diurnes qu'éprouvent dans un même lieu cette déclinaison, cette inclinaison et cette intensité: voilà des données qu'on cherche à obtenir en aussi grand nombre que possible, en les liant aux circonstances de hauteur, de climat, de constitution géologique de chaque localité. La liaison que M. Arago a découverte entre l'apparition des aurores boréales et les perturbations de l'aiguille aimantée, ajoute un nouveau degré d'intérêt aux observations magnétiques, et permet d'espérer qu'on pourra entrevoir un jour, à la suite d'une étude consciencieuse et approfondie, la cause de ces phénomènes en apparence si distincts, et en réalité si intimement unis.

Nous chercherons, dans l'un de nos prochains numéros, à

résumer les travaux les plus importans qui ont été faits sur le magnétisme terrestre, et nous continuerons ensuite à tenir régulièrement nos lecteurs au courant de cette partie intéressante de la physique terrestre. Nous y joindrons, comme pour l'électricité atmosphérique, les résultats des observations suivies qui seront faites dorénavant à Genève, au moyen d'un appareil complet de Gauss de très-grande dimension, dont notre ville vient d'être dotée, et qui va être placé dans un pavillon isolé construit dans ce but.

La troisième forme sous laquelle se présente l'électricité naturelle est, avons-nous dit, l'*électricité animale*. Certains poissons sont, comme on le sait, doués de la propriété de produire des effets électriques très-énergiques. Successivement étudiée par Walsh, de Humboldt, Davy, Becquerel, Linari, Matteucci et Faraday, cette propriété a été reconnue capable de donner naissance à tous les phénomènes électriques qu'une pile voltaïque peut produire. On doit particulièrement à M. Matteucci une excellente analyse des propriétés électriques de la torpille; il a constaté que l'origine de l'électricité était dans le quatrième lobe du cerveau, et non dans l'organe dit électrique dont cet animal est pourvu, et qui ne sert qu'à recevoir et probablement qu'à condenser l'électricité que les nerfs lui transmettent. Les animaux qui ne possèdent pas l'organe électrique peuvent-ils donner des signes d'électricité? De nombreuses expériences, et en particulier celles qui ont été faites sur la grenouille, semblent résoudre la question affirmativement; c'est ce qui résulte du moins des travaux de Galvani, d'Aldini, de Humboldt, puis plus tard, de ceux de Nobili, de Marianini, de Matteucci. Toutefois, l'électricité perçue dans les animaux qui ne sont pas doués de l'organe électrique est si faible, quelquefois si incertaine, qu'il est permis d'avoir encore quelques doutes sur sa véritable origine. La facilité avec laquelle des actions chimiques presque insensibles et des différences de température presque inappréciables développent des courans électriques, dont l'exis-

tence est accusée par des galvanomètres délicats, nous paraît rendre moins concluantes qu'elles ne le semblent au premier abord, des expériences faites sur les animaux, dans lesquelles ces deux genres d'action que nous venons de signaler sont si difficiles à éviter. Qui nous dit que, lorsque deux pointes de platine sont mises en contact, l'une avec les nerfs, l'autre avec les muscles d'un animal, le courant électrique qui est perçu ne provient pas d'une part de l'action désoxidante de la matière hydrogénée des nerfs, d'autre part de l'action oxidante de la substance humide du muscle? Qui sait si la matière des nerfs et celle des muscles, quand elles plongent l'une et l'autre dans l'eau de manière à former un circuit, n'éprouvent pas de la part de ce liquide une action chimique à laquelle est due la production du courant électrique? Il me semble donc que la question de l'électricité animale est une de ces questions qui ont encore besoin d'être étudiées à fond, que pour le moment l'existence de l'électricité animale ne peut être regardée comme bien constatée que dans les poissons électriques, et que, par conséquent, il reste à résoudre le problème important que voici : L'électricité animale est-elle une propriété générale et commune à tous les animaux, qui devient plus sensible chez certains poissons par la présence chez eux de cette espèce de condensateur que nous nommons organe électrique, ou bien n'est-ce qu'un fait isolé, accidentel et qui ne se présente que dans ce petit nombre d'animaux qui le manifestent d'une manière incontestable?

Les rapports entre l'électricité et la physiologie ne sont pas seulement ceux que nous venons d'indiquer. Si la production de l'électricité animale n'est pas encore un fait qu'on puisse sans incertitude regarder comme général, l'influence de l'électricité sur tous les animaux est, par contre, un phénomène qui ne présente aucune exception. Tantôt l'électricité semble faire l'office d'un agent mécanique très-délicat, tantôt elle paraît exercer une action semblable à celle des nerfs, tantôt il semble que son

influence est chimique, et qu'elle peut être comparée à celle des organes sécréteurs. Un fait qui paraît être bien constaté, c'est qu'un courant électrique produit du mouvement quand il chemine du centre nerveux aux extrémités, et de la douleur quand il parcourt les ramifications des nerfs en sens inverse.

On conçoit que ce point de la question touche de bien près à celui que nous venons de traiter, savoir : l'existence d'une électricité propre aux divers animaux. Aussi les physiciens les ont-ils en général traités simultanément et réunis sous une même théorie. MM. Prevost et Dumas, M. Becquerel, MM. Nobili, Marianini et Matteucci sont en particulier dans ce cas. Peut-être y aurait-il avantage à scinder mieux qu'on ne l'a fait les deux sujets, dont l'un, comme nous l'avons dit, paraît reposer sur une base mieux établie que l'autre.

Enfin, c'est dans l'action physiologique de l'électricité qu'on a déjà trouvé et qu'on pourra peut-être trouver plus tard de puissantes ressources pour l'art médical. Un agent qui peut n'agir que sur les muscles, qui peut aussi pénétrer jusqu'au centre nerveux, qui est capable d'exercer son influence sur les organes sécréteurs, est un agent dont la médecine devra nécessairement tirer tôt ou tard un parti important. Jusqu'ici, il faut le reconnaître, son emploi n'a pas encore été bien fructueux entre les mains des médecins. Cela tient essentiellement à ce que la science n'a pas encore bien déterminé la nature de son action physiologique, et surtout à ce qu'elle n'a pas fourni le moyen de bien diriger cette action et de la faire concourir au but désiré, et à ce but seul. Ajoutons, pour être vrai, que si l'usage de l'électricité n'a pas été jusqu'ici d'une grande ressource pour la médecine, il faut aussi l'attribuer en grande partie à ce que les physiciens ne sont pas assez physiologistes et à ce que les médecins ne sont pas assez physiciens. Un habile physiologiste qui, après avoir fait une étude approfondie de l'électricité (et il en est qui sont dans ce cas), voudrait consacrer du temps à ce genre de recherches ne tarderait pas, j'en

suis convaincu, à doter la science et l'humanité de belles découvertes. Espérons qu'il s'en trouvera qui entreprendront cette noble tâche. Quant à nous, nous nous empresserons d'enregistrer leurs travaux, et la partie de l'électricité qui touche à la physiologie, ne sera pas moins que les autres l'objet de notre examen et de notre attention soutenue.

J'arrive au dernier point de vue sous lequel il me reste à envisager l'étude de l'électricité et du magnétisme, je veux parler de leur application aux arts industriels. Cette partie de l'électricité commence à peine à naître, et elle ne se présente encore que sous deux formes distinctes, que je caractérise par les mots *forme électro-chimique* et *forme électro-magnétique*.

Je comprends sous la dénomination d'électro-chimiques, toutes les applications qui sont fondées sur la propriété que possède l'électricité de modifier l'état chimique des corps, soit en décomposant les uns, soit en déterminant sur les autres la formation de nouveaux composés ou simplement des dépôts. M. Becquerel est le premier physicien qui ait eu l'idée de ce genre d'applications, dans les travaux qu'il a faits sur le traitement électro-chimique de minerais pour en extraire essentiellement l'argent. Il est aussi l'auteur du principe qui a fourni à M. Jacobi le moyen de créer l'art de la galvano-plastique, et à moi-même celui de pouvoir dorer les métaux sans l'emploi du mercure. L'idée d'employer un diaphragme en vessie ou en baudruche pour séparer deux solutions, tout en permettant qu'elles soient dans le même circuit voltaïque, appartient en entier à M. Becquerel; c'est encore M. Becquerel qui avait le premier appliqué cette idée à la production d'un courant de force constante, longtemps avant que les physiciens anglais construisissent leurs piles fondées sur ce principe. Ainsi le seul point commun qu'il y ait entre l'application que M. Jacobi a faite de la décomposition d'une solution de sulfate de cuivre à la reproduction des objets en relief, et particulièrement des médailles, et celle que j'ai moi-même faite de la décomposition

d'une solution d'or au dorage des métaux, ce seul point commun, dis-je, appartient tout entier à M. Becquerel, et non à M. Jacobi, pas plus qu'à moi. Jusqu'à présent les trois espèces d'applications électro-chimiques qui aient été faites sont donc : le traitement des minerais pour l'extraction des métaux précieux, la reproduction des médailles et des objets en relief, soit la galvano-plastique, et enfin le dorage, dont le procédé a été déjà étendu à recouvrir les surfaces métalliques, aussi bien d'une couche d'un métal quelconque que d'une couche d'or. Nous aurons soin de suivre dans leur développement ces différentes applications, comme aussi de signaler celles du même genre qui ne manqueront pas de surgir.

J'entends par applications électro-magnétiques celles qui sont fondées à la fois sur la propriété que possèdent les courans électriques d'aimanter le fer, et sur les propriétés des aimans eux-mêmes. Ces applications ont pour objet la production d'un mouvement mécanique dans lequel la force électro-magnétique est destinée à remplacer utilement les autres forces, telles que la force de la vapeur, la force animale, etc. — Le principe de ce genre d'applications repose tout entier sur les attractions et répulsions des pôles des aimans, et sur la faculté qu'ont les courans électriques de déterminer dans le fer doux une aimantation très-forte et en même temps très-passagère. Des barreaux de fer aimantés, qui sont fixes et dont les pôles ne changent pas, attirent d'abord et repoussent ensuite des barreaux mobiles également de fer et également aimantés, mais dont les pôles changent à chaque instant par l'effet d'un artifice qui imprime aux courans électriques au moyen desquels ils sont aimantés, une direction constamment alternative ; telle est la forme sous laquelle la force électro-magnétique est appliquée à la production du mouvement dans tous les essais de ce genre qu'on a faits jusqu'ici.

La première idée de cette forme appartient au professeur Ritchie ; j'ai vu moi-même à Londres, en 1828, un petit appa-

reil qu'il avait construit, et dans lequel un mouvement continu de rotation était déterminé de cette manière. Jacobi plus tard a construit en grand, en y introduisant plusieurs perfectionnements, un appareil fondé sur le même principe. Plusieurs physiciens ont fait également des essais du même genre en Italie et en Amérique. Jusqu'ici les résultats, il faut le reconnaître, n'ont pas été très-satisfaisants, et ne sont pas de nature à faire espérer que cette application entre bien promptement dans le domaine pratique. Les deux grands obstacles paraissent être, d'une part, la dépense trop forte comparativement à l'effet obtenu, d'autre part la difficulté de dépasser une certaine limite dans l'intensité de la puissance. J'avais aussi, à peu près en même temps que Jacobi, essayé d'appliquer le principe découvert par Ritchie à la production d'une force utile en mécanique pratique. J'avais fait construire dans ce but successivement deux appareils, le premier par un artiste anglais, le second beaucoup plus parfait, par un habile artiste genevois (M. Foltz), qui y a introduit plusieurs améliorations de détail. Je n'avais point voulu publier jusqu'ici la description de ces appareils, ni les résultats qu'ils m'ont donnés. Cependant, je ne tarderai pas plus longtemps à les faire connaître, et l'un de nos prochains numéros contiendra le travail que j'ai fait sur ce sujet, ainsi qu'un résumé aussi complet que possible, des recherches auxquelles il a donné naissance jusqu'à ce jour.

L'avenir prépare-t-il des applications de l'électricité autres que celles que nous venons d'énumérer? Trouvera-t-on peut-être, enfin, dans la puissance calorifique et lumineuse de cet agent, un moyen économique de chauffage et d'éclairage? Voilà des questions qu'on peut signaler, mais auxquelles il serait imprudent de répondre. Ce que nous pouvons dire seulement, c'est que nous serons toujours prêts à faire connaître, en indiquant les chances de réussite qu'elles nous paraîtront présenter, toutes les tentatives qui seront faites dans ce genre.

Je viens de parcourir rapidement les diverses parties dont se compose actuellement la science de l'électricité. J'ai cherché à montrer combien elle présente de questions importantes à résoudre, et combien elle en offre encore peu dont la solution soit complète. Cet examen, tout imparfait qu'il est, me paraît cependant être de nature à faire sentir l'intérêt qu'il peut y avoir à suivre de près et avec soin les développemens successifs que doit recevoir l'étude de l'électricité. La physique proprement dite n'est pas seule intéressée aux progrès de cette branche des sciences. Le rôle important que l'électricité joue dans les phénomènes de la météorologie et de la physique terrestre, l'influence qu'elle exerce dans toutes les actions chimiques, la part encore mystérieuse, mais réelle, qu'elle paraît avoir dans les faits physiologiques, enfin les applications déjà nombreuses dont elle est susceptible, en font véritablement toute une science, et non pas seulement une partie de la physique.

Considérée sous ce point de vue, l'électricité comprend dans son domaine, indépendamment de ce qui la concerne elle-même comme branche de la physique, une grande partie de la chimie, la météorologie et la physique terrestre dans la plupart de leurs phénomènes, la physiologie dans plusieurs de ses points les plus essentiels, et enfin une portion de la technologie, qui commence à présenter quelque degré d'importance.

Envisager l'étude de ces différentes branches de nos connaissances dans ce qu'elles ont de commun, en les rattachant ainsi les unes aux autres par un même lien, c'est contribuer à leurs progrès par les idées nouvelles que ces rapprochemens peuvent provoquer ; c'est certainement aussi être utile à ceux qui,

étudiant l'électricité sous un point de vue seulement, ont besoin de connaître ses progrès sous les autres rapports, dans l'intérêt même du point spécial qui les occupe.

Nous espérons donc que, à ces différens égards, le recueil que nous commençons, et auquel les pages qui précèdent servent d'introduction, sera, malgré sa spécialité, accueilli favorablement par tous ceux qui étudient l'électricité sous l'un quelconque des nombreux points de vue que nous avons signalés. Nous espérons également, que les savants dont les recherches enrichissent journellement le domaine de l'électricité, voudront bien nous accorder leur précieuse coopération. Plusieurs nous l'ont déjà promise, et nous recevrons toujours avec reconnaissance les communications soit manuscrites, soit imprimées, qu'on voudra bien nous transmettre et que nous osons provoquer. Nous serons heureux si cette publication, que nous chercherons à tenir constamment au courant de la marche de la science, peut contribuer à faire avancer et même, disons-le, à faire aimer cette électricité dont l'étude est d'un si grand charme pour tous ceux qui l'abordent, et dont les progrès futurs révèleront, nous en sommes convaincus, des mystères que l'esprit humain pourra à juste titre être fier d'avoir pénétré.

DES TRAVAUX ET DES OPINIONS DES ALLEMANDS SUR LA PILE VOLTAÏQUE, par M. Elie WARTMANN, Prof. de physique à l'Académie de Lausanne.

Un des faits les plus remarquables que présente l'histoire de la physique est, sans contredit, l'existence de deux théories opposées, qui essaient d'expliquer d'une manière plus ou moins complète les divers phénomènes dus à l'action des fluides impondérables. Depuis une trentaine d'années, le système des ondes éthérées s'est posé en rival de celui de l'émission, et a réussi à embrasser d'une manière satisfaisante la presque totalité des problèmes de l'optique. L'avantage lui a été plus contesté en ce qui concerne le calorique, et ce n'est qu'aux travaux des expérimentateurs, et surtout des géomètres actuels, qu'il doit la faveur croissante dont il commence à jouir. L'électricité et le magnétisme présentent encore dans leur théorie de grandes difficultés, et il faudra peut-être étudier leurs manifestations dans quelque voie non encore soupçonnée pour les ramener à celle de l'ondulation.

Cette même dualité s'observe sous une autre forme dans le champ plus restreint du galvanisme proprement dit. A la théorie du contact, proposée par Volta pour rendre compte de cette série de découvertes dont la curiosité scientifique du médecin de Bologne fut la source, on ne tarda pas à opposer une théorie essentiellement différente, celle de l'action chimique. La première fut bientôt adoptée, à quelques modifications près, dans les diverses contrées de l'Europe savante; la seconde, d'abord presque ignorée, a surtout été soutenue dans ces derniers temps et admise, par un grand nombre de physiciens, en France et en Angleterre.

La théorie de Volta a, au contraire, persisté en Italie et en Allemagne, où elle a été défendue contre le système opposé par des physiciens et des géomètres fort habiles. L'ensemble de leurs travaux forme un corps de doctrine très-intéressant, peu connu en France, et dont je me propose d'énumérer ici les principes fondamentaux. Les partisans de la théorie chimique de la pile et ceux qui s'occupent de la philosophie de la science accueilleront, je l'espère, avec bienveillance, l'exposition des argumens et l'esquisse des recherches des partisans de la théorie de Volta.

Un voyage universitaire, que j'ai fait en Allemagne à la fin de 1840, m'a fourni l'occasion de voir plusieurs des savants les plus distingués qui s'occupent de ces questions délicates, et je dois à leur grande complaisance la vue des instrumens qu'ils ont employés pour les approfondir, et la connaissance de plusieurs particularités importantes encore inédites. J'ai cherché dans leurs divers écrits le développement de leurs idées et des preuves sur lesquelles ils les appuient. Toutefois, je déclare dès l'entrée assumer sur moi toute la responsabilité de mon travail, et ne pas vouloir charger les auteurs des inexactitudes que le langage scientifique allemand, souvent peu clair, surtout pour un étranger, a pu me faire commettre.

Le compte rendu qui va suivre est loin d'être complet, et ne saurait comprendre le détail des diverses et très-nombreuses expériences qui ont été publiées. On n'y trouvera pas le parallèle des opinions contraires, que plusieurs physiciens ont successivement cherché à faire prévaloir : cette polémique, sur laquelle je pourrai revenir, eût excédé les bornes que je me suis imposées. Ce qui lui donnerait une valeur scientifique plus réelle, serait la traduction entière de quelques-uns des ouvrages dont je vais parler.

Lorsqu'on parcourt les traités et les journaux de physique, et qu'on cherche à réduire en groupes généraux la quantité prodigieuse d'expériences dont la théorie de la pile a été l'objet,

on est dans un chaos ténébreux de faits et de doctrines contradictoires qui laisse peu d'espoir d'atteindre la vérité. C'est ce qu'ont plus particulièrement senti, depuis quelques années, les hommes appelés à professer la science, et on leur doit des tentatives précieuses pour obtenir la solution du problème. Ces tentatives ont été faites dans deux directions qui, liées dans leur essence, doivent être exposées séparément. Les unes ont eu pour but de rechercher les lois qui président aux phénomènes de la pile, quelle que soit la théorie qui doive les expliquer; les autres sont destinées à la partie spéculative, à la théorie proprement dite.

§ I. — *Lois de la pile.*

L'ouvrage le plus remarquable, et qui a servi à donner une tendance précise aux recherches des Allemands, c'est la *Théorie mathématique de la pile galvanique* [1], publiée en 1827 par M. le Dr G.-S. Ohm, d'Erlangen, recteur actuel du Gymnase de Nürenberg. Ce que les Fourier, les Laplace, les Poisson, les Ampère, les Cauchy, les Gauss ont fait pour la capillarité, la chaleur, l'électro-dynamique, le magnétisme, M. Ohm a tenté de le faire pour le voltaïsme, et son ouvrage ne doit être regardé que comme une introduction à celui qu'il fera paraître plus tard.

Tous ses développements mathématiques reposent sur l'adoption *a priori* des trois lois fondamentales suivantes, que l'auteur accepte comme vraies sans les démontrer :

1re *loi.* — Nommons *force électroscopique* la quantité d'attraction ou de répulsion exercée par un corps électrisé sur un autre d'état électrique invariable appelé *électroscope*. Cette

[1] *Die galvanische Kette mathematisch bearbeitet.* Berlin, in-8, 1827. —Voy. quelques développements dans Schweig. *Jahrb. der Chemie und Physik*. 1831 et 1832.

force varie dans le même temps d'une place à l'autre de l'intérieur d'un corps, elle varie de plus dans la même place en divers temps. Les deux énoncés qui suivent déterminent en quoi cette force dépend du temps et du lieu :

a) Lorsque deux éléments matériels de mêmes dimensions et de même forme, mais inégalement électrisés, sont mis en contact, ils tendent à se mettre en équilibre électrique, ce qui, dans un temps extrêmement court, s'effectue proportionnellement à la différence des forces électroscopiques et à la longueur du temps. Cette proportionnalité est hypothétique, mais elle est la supposition la plus simple et la plus naturelle qu'on puisse faire; le reste est d'expérience.

b) Quant à l'influence du lieu ou de la distance, on sait que Laplace avait été conduit, dans l'étude des actions moléculaires, à admettre une action d'un élément quelconque infiniment petit, non-seulement sur ceux qui le touchent immédiatement, mais encore à une distance plus grande que le contact, action qui s'exerce sur tous les élémens compris dans une étendue finie, aussi petite qu'on voudra [1]. La supposition contraire menait à des équations différentielles dont les membres n'étaient pas homogènes, ce qui est contraire à l'esprit du calcul différentiel. M. Ohm n'adopte que l'action au contact, hypothèse qui est d'accord avec celle que Fourier a développée dans sa *Théorie analytique de la chaleur*.

2[e] *loi*. — La perte d'électricité qu'éprouve dans un temps de longueur invariable un corps plongé dans l'air, est proportionnelle à la quantité de cette électricité et à un coefficient qui dépend de la nature du corps. C'est la loi que Coulomb a déduite de ses recherches.

3[e] *loi*. — Lorsque deux corps hétérogènes sont en contact,

[1] Mémoires de la première classe de l'Institut, 1809. — Voy. aussi le Mémoire de Poisson sur la Distribution de la Chaleur, Journal de l'Ecole polytechnique, cah. XIX.

il existe, aux points où ils se touchent, une force électroscopique constante et égale à la différence des forces qui leur sont propres : c'est la tension électrique.

A l'aide de ces trois lois, il est possible de prévoir toutes les conditions auxquelles est soumis le mouvement de l'électricité dans des corps de forme et de nature quelconque ; et les équations différentielles auxquelles elles conduisent sont tellement semblables à celles que Fourier et Poisson ont données pour le mouvement de la chaleur, que de cette seule similitude on pourrait déduire celle des deux fluides.

Dans les expériences entreprises pour vérifier sa théorie, M. Ohm a évité les changemens chimiques qui ont lieu dans différentes parties de la pile, notamment dans les liquides, parce que ces changements enlèvent à l'action sa simplicité naturelle, et qu'ils vont quelquefois, par un renversement spécieux de phénomènes, jusqu'à ne plus se soumettre aux règles qui les régissent. Aussi distingue-t-il soigneusement les piles galvaniques où aucune partie n'est en butte à des effets chimiques, de celles dont ces effets troublent l'activité. Il justifie cette séparation et cette place secondaire accordée au cas de l'action chimique, en avouant qu'il manque, à la partie de son livre où il s'en occupe, une épreuve expérimentale suffisante, que les circonstances ne lui ont pas permis de tenter.

Pour découvrir ce qui a lieu dans les manifestations galvaniques, l'auteur considère d'abord un anneau homogène d'épaisseur constante, et dans une section duquel existe une tension électrique, c'est-à-dire une inégalité dans les états électriques de deux surfaces consécutives. Il montre comment le fluide se distribue dans l'anneau tout entier, et quelles en sont les forces absolues aux différents points du corps solide. Il examine ensuite le cas d'un anneau hétérogène, puis celui de plusieurs anneaux. Il arrive, enfin, à cette loi générale : Lorsqu'on étudie l'état électrique d'une pile formée par la réunion d'un nombre quelconque de parties prismatiques, on trouve sur chaque surface

d'excitation un saut subit qui y produit la tension, et dans toutes les parties un passage uniforme et successif d'un bout à l'autre; les rapports (*Gefälle*) des différents passages sont inversement proportionnels aux produits des conductibilités par les sections de chaque partie.

Les considérations précédentes permettent de déterminer la force électrique qui existe en une partie quelconque de la pile. Si l'on nomme

- u, u' les forces électriques libres à chacune des extrémités de la partie limitée qu'on considère,
- o la somme de toutes les tensions qui existent dans cette partie,
- y la somme de toutes les résistances à la conductibilité qui s'y rencontrent et dont l'auteur nomme *longueur réduite* la valeur numérique,
- A la somme de toutes les tensions de la pile entière,
- L la somme de toutes les résistances à la conductibilité qu'elle présente,

on a entre ces diverses quantités la relation

$$u - u' = \frac{y}{L} A - o. \qquad [\alpha].$$

Si, de plus, on appelle S la grandeur du courant qui est constant pour chaque section de la pile, on trouve

$$S = \frac{A}{L} \qquad [\beta]$$

La grandeur du courant est donc directement proportionnelle à la somme de toutes les tensions de la pile, et inversement proportionnelle à sa longueur réduite, soit à sa longueur divisée par le produit de sa conductibilité et de sa section.

Ces deux formules fondamentales renferment la clef de tous les phénomènes de la pile, ainsi que M. Ohm avait essayé de le

prouver dès 1826 [1]. Voici l'énoncé de quelques-unes des conséquences les plus remarquables qui en découlent :

Si u est la force électrique en un point quelconque d'une pile, c une constante arbitraire,

$$u = \frac{A}{L} y - o + c \qquad [\gamma]$$

Ainsi chaque point d'une pile souffre *médiatement*, quant à l'action extérieure de sa force électrique, la même variation que des influences extérieures exercent *immédiatement* en un autre point quelconque. Les valeurs de u calculées concordent admirablement avec tous les résultats qu'a obtenus M. Jäger [2], en étudiant les rapports de la pile avec l'électroscope condensateur. Il y a également une identité remarquable entre les indications de la théorie et les phénomènes de conductibilité, soit dans les corps mauvais conducteurs chez lesquels on les attribuait à une propriété de leur nature [3], soit dans les bons conducteurs tels que les métaux, ainsi que M. Ohm l'a lui-même démontré [4].

Dans une chaîne galvanique ouverte, la différence des forces électriques entre deux points quelconques est égale à la somme de toutes les tensions qui existent entre ces deux points, et, conséquemment, augmente ou diminue exactement dans le même rapport que cette somme. Détournez par un contact la force de l'un des points, et celle de l'autre deviendra égale à cette somme. Voilà ce qui explique les expériences faites au moyen de l'électroscope, par Ritter [5] et par MM. Erman [6] et Jäger [7] sur la pile non fermée.

[1] Schw. Jahrb. 1826, 2e cahier.
[2] Gilbert's, Ann. XIII.
[3] Ibid. VIII, 205, 207, 406 ; X, 11.
[4] Ann. der Physik, 1826, 5 et 117.
[5] Gilbert's, Ann. VIII.
[6] Ibid., XII.
[7] Ibid., XIII.

La grandeur du courant est la même en chaque point de la pile, et ne dépend que de la répartition de l'électricité ; de sorte qu'elle ne varie pas d'une place à l'autre lorsque, par un contact de dérivation ou telle autre voie, on change la force électrique en un point quelconque de la pile. — Cette identité de courant dans toutes les parties avait déjà été indiquée par MM. Becquerel [1], Barlow [2], De la Rive [3], et son indépendance de la force électrique, en un point donné de la pile, avait été prouvée par M. G. Bischof [4]. Les travaux de M. Fechner, dont il sera question bientôt, ont également confirmé ces résultats. Il est du reste bien entendu, que, si l'on agissait par dérivation fermée sur deux points à la fois, on obtiendrait un courant secondaire qui influerait sur le courant primitif et fondamental.

Un changement dans l'ordre des parties de la pile n'a aucune influence sur la grandeur du courant, lorsque la somme des tensions reste la même ; en effet, l'équation [β] montre que la quantité S ne sera nullement affectée lorsque A et L changeront dans le même rapport. Cela explique pourquoi une pile, dont les tensions forment une somme très-petite, comparée à celle des tensions d'une autre pile, peut cependant donner un courant égal à celui de la seconde ; il suffit, en effet, que la diminution des tensions soit compensée par un raccourcissement de la longueur réduite. Telle est la cause de la différence qui existe entre les piles thermo-électriques et les piles hydro-électriques. Dans les circonstances ordinaires, la longueur réduite de la partie fluide de ces dernières est si grande, comparée à celle de la partie métallique, qu'on peut négliger celle-ci et prendre la première pour la longueur réduite de toute la pile ; alors, en

[1] Bulletin universel de Physique, mai 1825 ; Annales de Chimie et de Physique, XXXII, 420.

[2] Schw. Jahrb., XLIV, 367.

[3] Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève, t. VII, et Annales de Chimie et de Physique, t. LXII, p. 147.

[4] Kastner's Archiv, IV, 1er cahier.

vertu de la grande différence qui existe entre la conductibilité des liquides et celle des métaux, la grandeur du courant est en raison inverse de la longueur réduite de la partie fluide. Si l'on compare entre elles de telles piles, dans lesquelles les parties liquides ont seules des longueurs *efficaces* (wirkliche) et la même conductibilité, la grandeur du courant est directement proportionnelle à la section du liquide. Mais il faut se rappeler que cet énoncé cesserait d'être exact dès que la longueur réduite de la partie solide pourrait avoir une influence.

Il résulte de cette même équation [β], que, si après l'enlèvement d'une partie de la pile et son remplacement par une autre, la somme des tensions, ainsi que la force du courant, restent les mêmes, ces deux parties ont une longueur réduite égale; leurs longueurs réelles sont donc entre elles comme le produit de leur conductibilité par leur section; à égalité de section, le rapport sera celui des conductibilités, et à égalité de conductibilité, celui des sections. La première de ces relations permet de déterminer les conductibilités avec une grande précision, ainsi que l'ont fait MM. Becquerel[1] et Ohm[2]. La seconde peut servir à démontrer expérimentalement la non-influence de la forme de la section, comme l'ont prouvé Sir H. Davy[3] et l'auteur[4].

Si l'on assemble n élémens, on obtiendra une batterie, dans laquelle ce qui était $\frac{A}{L}$ dans la pile simple, sera devenu $\frac{nA}{nL}$. Introduisons dans toutes deux une nouvelle partie, de longueur réduite λ, et il viendra pour l'une $\frac{A}{L+\lambda}$, et pour l'autre $\frac{nA}{nL+\lambda}=\frac{A}{L+\frac{\lambda}{n}}$. Il y aura donc toujours accroisse-

[1] Bulletin Universel, Physique, mai 1825.
[2] Schw. Jahrb., 1826, 2e cahier.
[3] Gilb. Ann., neue Folge, XI, 153.
[4] Schw. Jahrb., 1827.

ment pour la batterie, mais il sera d'autant moindre que λ sera plus petit par rapport à L, et *vice versâ*. Il est, par suite, loin d'être indifférent à la production du maximum d'effet du courant, de disposer d'une manière quelconque un nombre donné de piles simples, que l'on veut réunir à la partie de longueur réduite λ. Le calcul enseigne que le parti le plus avantageux consiste à en former une réunion voltaïque d'un nombre de parties égales tel, que son carré équivaille au quotient $\frac{\lambda}{L}$. Si $\frac{\lambda}{L}$ est plus petit que λ ou lui est égal, le mieux sera de les placer les unes à côté des autres; mais il faudra les placer les unes à la suite des autres, si $\frac{\lambda}{L}$ est égal au carré du nombre des élémens, ou est plus grand que lui.

Voilà pourquoi, dans le plus grand nombre des cas, afin d'obtenir le maximum d'effet, il convient d'employer une pile simple, ou au moins, de ne réunir qu'un petit nombre d'éléments. Ces mêmes considérations expliquent les nombreuses différences qui s'observent dans les résultats d'expériences faites avec la pile hydro-électrique, ainsi que les changements si remarquables dans la manière de se comporter d'un même rhéomètre[1] avec différentes piles, et de divers multiplicateurs avec la même pile. L'expression de l'effet limite du multiplicateur montre qu'il est proportionnel à la tension de la pile et indépendant de la longueur réduite de celle-ci. D'où l'on déduit, que les effets limites de deux rhéomètres formés de fils de même diamètre, mais de métaux différents, sont entre eux comme les conductibilités de ces métaux, et ceux de deux multiplicateurs faits de fil d'un même métal, comme les sections de ces fils[2].

[1] L'auteur emploie indifféremment les mots *rhéomètre* et *multiplicateur*, pour désigner le galvanomètre multiplicateur de Schweiger. (R.)

[2] Voy. pour plus de détails, Schw. Jahrb., 1826 et 1827.

Les propriétés précédentes une fois établies, M. Ohm étudie la force électroscopique en elle-même. Par une suite de déductions analytiques, il arrive aux deux équations suivantes :

$$\gamma \frac{du}{dt} = \varkappa \frac{d^2 u}{dx^2} - \frac{bc}{\omega} u \qquad [\delta]$$

$$S = \varkappa \omega \frac{du}{dx} \qquad [\varepsilon]$$

dans lesquelles on a représenté par

γ un coefficient qui dépend de la différence de variation de force électroscopique, que la même quantité d'électricité peut occasionner dans des corps divers de même développement superficiel (*Ausdehnungsgrösse*),

u la force électroscopique,

t le temps,

$\varkappa$ la conductibilité absolue du corps, indépendante de la grandeur de la section,

x la distance à l'origine de la section considérée ; dx est l'épaisseur de cette section,

ω la grandeur de la section,

b un coefficient constant pour l'action de l'air,

c le contour de la section,

S la grandeur du courant.

Ces relations, déterminées pour le cas d'un corps homogène, conserveraient une forme semblable pour celui de corps hétérogènes. Elles ne se vérifient que lorsque toutes les parties d'une même section ont une force électroscopique égale, ou du moins, lorsque la grandeur de la section ne varie que d'un corps à l'autre. Aussi ces formules s'appliquent-elles à une pile cuivre, zinc et eau, par exemple, lorsque les métaux sont prismatiques et de même section, et lorsque le liquide, également prismatique, a une section égale à la leur ou plus petite qu'elle, et touche entièrement leur superficie. Il en sera encore de même, vu l'immense supé-

riorité de conductibilité des métaux sur le liquide, lorsque ces conditions ne seront pas remplies, sauf le cas où le liquide ne serait touché par les métaux qu'en une partie infiniment petite de ses surfaces, parce que l'électricité qui s'y rend ne peut arriver que lentement, et avec une perte notable de force aux points des surfaces du liquide qui ne sont pas en contact avec les métaux. Il en résulte des courants de nature et de direction diverses, que les expériences de M. Pohl ont mis en évidence, mais dont M. Ohm ne traite pas dans son ouvrage, parce qu'il n'y est question que des courants qui se propagent dans une seule direction, et qu'il y reviendra plus tard.

Si l'on admet que la force électroscopique soit indépendante du temps, et que l'action de l'air sur elle soit nulle, l'équation [δ] devient

$$o = \frac{d^2 u}{d x^2} \qquad [\zeta]$$

dont l'intégrale

$$u = f x + c \qquad [\eta]$$

est l'expression de la loi de la répartition de l'électricité dans un conducteur homogène et régulier ; f et c désignant des constantes. En appelant a la différence de force électro-motrice aux extrémités d'un conducteur de longueur l, on peut ramener [η] à la forme

$$u = \frac{a}{l} x + c \qquad [\theta]$$

dans laquelle c reste indéterminé.

Nous avons dit que M. Ohm avait, dans tout ce qui précède, négligé, ou plutôt évité, l'action chimique ; mais il comble cette lacune dans un appendice spécial. Il distingue d'abord l'électricité *latente* (*gebundene*) qui est liée à l'essence des corps, et ne peut en être séparée sans que leur mode d'existence soit

en même temps détruit, — de l'électricité *libre* qui n'est pas nécessaire à la constitution des corps, et peut ainsi passer d'une de leurs parties à une autre, sans que par là celles-ci soient contraintes d'échanger leur manière d'être spécifique.

Lorsqu'une section de pile sera formée de la réunion d'éléments qui possèdent des valeurs électriques inégales, les sections voisines exerceront sur ces éléments des attractions ou des répulsions inégales ; il en résultera pour eux une tendance à s'éloigner les uns des autres, et même une véritable séparation, si leur connexion réciproque peut être vaincue. L'auteur nomme *force décomposante* (*zersetzende Kraft*), cette puissance de la pile galvanique pour désunir les constituants des corps, et il trouve pour son expression analytique

$$4\,i\,z\,(1-z)\,\frac{m\,\beta - n\,\alpha}{\alpha\,z + \beta\,(1-z)}\,S \qquad [1]$$

dans laquelle

z est le rapport des espaces d'action de deux éléments consécutifs,

m et n les forces électroscopiques de ces éléments,

α et β leurs masses,

i le rapport du produit de l'augmentation de la force entre ces deux éléments à la conductibilité absolue de la pile,

S la grandeur du courant électrique.

M. Ohm recherche ensuite les valeurs de la réaction sur le courant électrique qui engendre l'action de cette force décomposante ; il montre que l'expérience laisse encore beaucoup à désirer sur divers points, dont la connaissance est nécessaire pour trouver ces valeurs, notamment sur les variations de conductibilité qui ont lieu lorsque deux liquides sont mêlés en proportions diverses [1], et sur la loi des tensions que présentent des

[1] L'auteur estime que les recherches de MM. Gay-Lussac et Davy n'ont pas encore résolu cette question.

liquides divers mélangés en rapports variables. Il essaie de suppléer à l'expérience par des hypothèses, et admet, en particulier, que la grandeur des tensions électriques entre deux corps est proportionnelle à la différence de leurs forces électriques latentes, et à une fonction nommée *coefficient de tension*, qui dépend de la grandeur, de la position et de la forme des éléments agissant les uns sur les autres au contact.

Soient S et S' les grandeurs du courant avant l'action chimique, et quand cette action est arrivée à un état stationnaire,

Φ la différence des deux coefficients de tension correspondants,

L la longueur réduite de toute la pile,

z' et z'' ce que devient z avant et après l'action chimique ;

on trouve

$$S' = S - \frac{\Phi(n-m)(z''-z')}{L} \qquad [x]$$

équation qui, jointe à d'autres trop compliquées pour être rapportées ici, permet de répondre à toutes les questions qu'on peut faire sur le partage chimique et sur le changement qui en est résulté pour le courant électrique. L'ensemble de ces formules constitue une base complète pour une théorie de ces manifestations ; mais de nouvelles recherches deviennent nécessaires pour l'établir, et pour coordonner d'une manière sûre et philosophique le grand nombre de matériaux incertains que la science possède.

Telle est l'analyse succincte du traité de M. Ohm. Pour en compléter l'utilité, il fallait encore savoir si la pile hydro-électrique suit la loi que lui assigne la théorie [1]. A cette importante question, l'expérience seule pouvait répondre, et elle a montré

[1] Schw. Jahrb., 1830, I, 393.

que les relations ci-dessus rapportées sont et demeurent vraies, aussi longtemps que la pile peut être regardée comme un tout qui ne subit aucun changement et n'est point subdivisé en parties différentes ; aussi s'appliquent-elles constamment à la pile thermo-électrique pendant la durée entière de son activité, pourvu que le mode d'excitation reste invariable.

A côté de l'ouvrage de M. Ohm doit être placé celui de M. G.-T. Fechner, professeur à Leipzig, intitulé : *Résultats numériques d'observations de la pile galvanique*[1], et qui renferme le complément et la confirmation des théories du premier. M. Fechner, à qui la physique doit plusieurs excellents livres, tels que ses *Eléments d'Electro-magnétisme*[2], son *Répertoire de Physique*[3], dignement continué par MM. Dove, Lejeune Dirichelet, Moser, etc., a entrepris les laborieuses recherches dont je vais essayer de rendre compte, pour la seconde édition de la traduction allemande qu'il a faite du Traité de physique de M. Biot[4]. Il a cherché à estimer exactement par expérience les divers éléments qui entrent dans les formules de M. Ohm, et il a été conduit à les modifier en y introduisant une quantité nouvelle, la *résistance* qu'éprouve le courant *à passer* d'une partie solide à une partie liquide ou réciproquement. Cette résistance sur laquelle MM. Ritter, De la Rive et Marianini avaient déjà appelé l'attention, M. Ohm n'en a point tenu compte, et refuse encore maintenant de l'admettre comme réelle[5].

[1] *Maasbestimmungen über die galvanische Kette*; Leipzig, 1831.—4°.

[2] *Elementarlehrbuch des Elektromagnetismus, nebst Beschreibung der hauptsächlichsten electromagnetischen Apparate*; Leipzig, 1830.—8°.

[3] *Repertorium der Experimentalphysik*, 3 vol. 8°, 1832.

[4] *Lehrbuch der Experimentalphysik oder Erfahrungsnaturlehre; zweite Auflage der deutschen Bearbeitung mit Hinzufügung der neuen und einheimischen Entdeckungen*, 5 vol. 1829—1830.

[5] Je tiens de M. Ohm que la vérification expérimentale de ses formules est une œuvre de patience; car, pour qu'elles soient confirmées, il faut faire l'observation à un certain moment de la clôture de la pile; une ou quelques minutes plus tard, l'effet est déjà moindre. Aussi est-ce là un

Tous les résultats obtenus par M. Fechner ont été calculés à l'aide de la formule

$$\frac{A}{nl + mv + pw} \qquad [\lambda]$$

dans laquelle

A désigne la force électro-motrice ou une quantité qui en dépend,

l la résistance de la simple longueur du multiplicateur,

v celle du liquide pour l'unité de distance,

w celle du passage pour l'unité de surface agissante,

n, m, p des coefficients numériques qui dépendent de changements dans l'état et les dimensions des parties de la pile ; n et m sont directement proportionnels à la longueur des conducteurs et inversement à leur section ; p est en raison inverse de la surface agissante.

Les valeurs absolues de A et w sont indépendantes des variations de n, m et p et prises comme constantes ; toutefois, lorsque ces coefficients changent en dehors de certaines limites, A ou w, ou tous deux, prennent d'autres valeurs. C'est ce phénomène que M. Fechner désigne par *sauts de la force électro-motrice et de la résistance au passage*.

Toutes les mesures ont été obtenues à l'aide de la méthode des oscillations, que M. Biot avait déjà employée une fois dans le même but [1]. Elle consiste à placer une aiguille aimantée,

reproche à faire aux résultats publiés par M. Fechner, dont les moyennes d'expériences sont quelquefois trop faibles de 1/60. C'est cette différence qui lui a fait donner à la résistance au passage une importance exagérée.

[1] Parmi les diverses méthodes exclusivement fondées sur l'action magnétique, qui sont destinées à mesurer l'intensité d'un courant, on peut encore citer celle de la balance de torsion, employée par M. Ohm, et celle de la mesure de l'angle dont il faut changer la direction du courant pour maintenir l'aiguille aimantée dans une direction constante. Cette dernière méthode a été proposée par M. le Prof. de la Rive en 1824

simple ou double, perpendiculairement aux révolutions d'un conducteur métallique, et à chercher le nombre N d'oscillations qu'elle fait sous l'influence de la force directrice de la terre, puis le nombre N' qu'elle exécute dans le même temps sous l'influence réunie de cette force et du courant que l'on fait passer par le fil ; on a alors évidemment pour expression de l'intensité de ce courant

$$\frac{1}{N'^2} - \frac{1}{N^2} = \frac{N^2 - N'^2}{N'^2} \cdot \frac{1}{N^2}$$

ou, faisant $\frac{1}{N^2}$, soit la force directrice de la terre, égale à l'unité, il reste

$$\frac{N^2 - N'^2}{N'^2} = \left(\frac{N}{N'}\right)^2 - 1.$$

Cette méthode appliquée avec précision, et en observant diverses conditions indiquées par l'auteur, conduit à des résultats beaucoup plus exacts que ceux auxquels on parviendrait par d'autres moyens ; cependant elle peut, même rigoureusement suivie, entraîner à des erreurs notables. En effet, M. Ohm a prouvé [1] que, dans les piles d'une certaine énergie, il existe, pour les temps qui correspondent aux périodes successives d'oscillations, un accroissement petit, à la vérité, mais bien appréciable, lequel ne se laisse plus reconnaître d'une manière cer-

(*Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève*, tome III, première partie, page 117), et plus tard par M. Pouillet (*Traité de Physique*, I, 604), et l'appareil dont il s'est servi se nomme *Boussole des Sinus*. J'ai vu chez M. le Prof. Poggendorff une boussole semblable, mais beaucoup plus parfaite, et que ce savant a décrite devant l'Académie des Sciences de Berlin, dans la séance du 30 juillet 1840 (Voyez l'Institut, n. 371). On ne saurait douter qu'un tel instrument ne réunisse toutes les qualités d'exactitude et de facilité d'emploi qu'on doit désirer dans de telles recherches.

[1] Schw. Jahrb., 1830, I, 393, ss.

taine dans les piles faibles. Il faudra donc, dans l'appréciation des résultats, tenir compte de cette cause d'erreur.

Nous avons dit que les recherches de M. Fechner lui ont révélé l'existence de deux faits que M. Ohm avait négligés, parce qu'ils dépendent probablement d'une relation dont il ne s'était pas occupé, et qui existe entre le conducteur liquide et le conducteur solide aux points communs de contact, de manière à différencier essentiellement les piles hydro-électriques des piles thermo-électriques ; ces faits sont la résistance au passage que nous avons déjà mentionnée [1], et les sauts de la force électromotrice.

En effet, la force de la pile est soumise à une sorte d'ondulation (Wogen). Elle est à son maximum au commencement de l'action, elle diminue plus ou moins rapidement, puis arrive à un état stationnaire qu'elle conserve pendant quelques heures. Il faut donc ne compter dans sa mesure qu'un petit nombre d'oscillations de l'aiguille, quatre, par exemple. Cette force dépend aussi de l'homogénéité des plaques employées, de l'état de leur surface, de l'introduction dans le circuit d'un mauvais conducteur, etc., circonstances auxquelles il est nécessaire d'avoir égard pour la rigueur des résultats. Ceux qui se sont occupés de semblables expériences, comprendront bien et l'influence de ces causes d'erreur, et la grandeur du service que M. Fechner a rendu au galvanisme, par ses recherches dirigées avec autant d'habileté que de patience [2].

[1] Contre l'existence de cette résistance au passage (*Widerstand des Uebergangs*), M. Ohm m'a cité qu'en plaçant, dans certains cas, une plaque métallique entre deux autres, on obtient plus d'électricité que par le contact des deux premières, quoique le trajet soit augmenté. Mais cette addition ne peut-elle pas accroître suffisamment la force électro-motrice totale pour expliquer ce résultat?

[2] M. Poggendorff a communiqué à l'Académie de Berlin, dans sa séance du 5 novembre 1840, que l'on peut prolonger, pour le cuivre et en partie aussi pour le fer, la constance de la force électro-motrice :

1° En échauffant les métaux jusqu'à disparition des taches colorées qui s'y font d'abord remarquer ;

Aux résultats numériques qui constituent la presque totalité de l'ouvrage, sont joints succinctement les énoncés qui les résument. En voici quelques-uns :

La force de la pile est directement proportionnelle à la force électro-motrice, et inversement proportionnelle à la résistance de conductibilité. Cette *loi fondamentale de la pile galvanique*, comme l'appellent les Allemands[1], résulte de l'ensemble des expériences qui ont été faites dans toutes sortes de directions, et n'est que l'expression littérale de la formule [β] que M. Ohm avait trouvée par la théorie. Pour plus de généralité, M. Fechner ajoute que la force totale (somme des forces de tous les points) de chaque section de la pile, faite perpendiculairement à la direction du courant, est la même dans toute la longueur de la pile, et indépendante de la nature ou de la grandeur de chaque section ; l'intensité de la force dans chaque point d'une section homogène est donc en rapport inverse de la grandeur de la section. Si l'on change dans une partie quelconque de la pile, soit la force électro-motrice, soit la résistance, il en résultera une variation qui, loin d'être locale, se manifestera la même dans toutes les parties de la pile. C'est la reproduction d'une des propriétés précédentes[2].

2° En les immergeant dans l'acide nitreux ;

3° En les recouvrant d'un dépôt de cuivre réduit par voie électro-chimique.

Des plaques de cuivre ainsi préparées donnent au courant plus de durée et de force. Celle-ci va même en augmentant pendant une heure et plus, puis elle atteint un maximum auquel elle se fixe pendant un temps plus ou moins long, pour diminuer ensuite d'une manière si insensible, que la différence est presque nulle au bout de plusieurs heures. Cet effet n'a lieu que lorsqu'on ne change rien à la pile, et il n'a pas toujours été obtenu, même en employant des plaques en apparence identiques. L'auteur poursuit ses intéressantes recherches.

[1] On la nomme aussi *loi de Fechner* ou *d'Ohm*.

[2] On sait que des recherches du même genre ont été faites en France, en particulier par M. Pouillet. Le savant professeur, sans connaître les travaux de MM. Ohm et Fechner, est arrivé à cette loi si simple que *l'in-*

La force électro-motrice totale A est proportionnelle au produit du nombre des couples (combinés d'après le principe de la pile) par la force électro-motrice de chaque couple. La résistance totale L est la somme des résistances partielles et au nombre de trois (désignées par l, v, w,) qu'opposent au courant les parties qu'il traverse.

M. Fechner déduit de ses expériences des conclusions semblables à celles que la discussion des formules [α] et [β] nous a fournies.

Je me bornerai à en rapporter un petit nombre en y ajoutant quelques-unes de celles qu'il a tirées de la partie originale de ses recherches.

Si l'on augmente ou diminue la résistance d'une portion quelconque de la pile, la force de l'appareil ne diminuera ou ne s'accroîtra que dans le rapport de cette partie de la résistance à la résistance totale. — En rendant de plus en plus grande la résistance d'une aussi petite partie qu'on voudra, on finira par annuler totalement l'effet de la pile ; car si, dans [β], $L = \infty$, on a $S = o$. — Mais on peut compenser une très-forte résistance (corps humain, couche d'air, etc.), en augmentant proportionnellement la force électro-motrice A totale. Cependant on ne peut pas augmenter indéfiniment la force de la pile en augmentant la conductibilité d'une seule partie ; et on arrive bientôt à une limite au delà de laquelle un accroissement de conductibilité est sans influence. Ces diverses circonstances expliquent pourquoi l'interposition d'un conducteur humide n'a qu'un effet presque nul dans la pile hydro-électrique, tandis qu'elle détruit en très-grande partie l'énergie d'un

tensité du courant dans une pile thermo-électrique ou hydro-électrique est en raison inverse de la longueur du circuit et en raison directe de sa section (Eléments de Physique, 3e édition, I, 583). Mais cet énoncé n'est, à ce que pensent les Allemands, qu'un cas particulier de la loi de M. Fechner, exprimée dans la formule [λ] ; il ne se vérifie qu'en employant un courant assez fort pour atténuer les deux autres résistances v et w.

courant thermo-électrique. De plus, comme il y a égalité du courant dans toutes les sections de la pile, on explique par là pourquoi un fil fin est mieux rougi par une pile qu'un fil gros; pourquoi un galvanomètre à fil fin et long est excellent pour une pile hydro-électrique, et ne donne aucune indication avec une pile thermo-électrique, etc.

Quant à la force électro-motrice totale d'une pile, M. Fechner établit qu'elle est proportionnelle au nombre des couples, lorsqu'ils sont homogènes, et à la différence des forces électromotrices partielles lorsqu'on se sert de couples hétérogènes. Elle est liée, mais non d'une manière absolue, avec la nature du liquide et l'état de la résistance.

Il examine ensuite les diverses résistances et admet :

Que la *résistance des conducteurs* croît en proportion de leur longueur; le courant traverse deux fils de longueurs inégales, m et n, en quantités inverses de leurs longueurs, et, en ce qui concerne la force totale du courant, les deux fils équivalent à un seul dont la longueur serait $\frac{mn}{m+n}$;

Que la *résistance du liquide* est proportionnelle à la distance des plaques des couples, et en raison inverse de la section du liquide, lorsque la surface qu'il baigne est égale à cette section. Elle décroît avec la quantité de parties salines ou acides qu'on ajoute au liquide; elle est indépendante de la nature des plaques[1];

Enfin, que la *résistance du passage* est inversement proportionnelle à la surface excitatrice, et augmente à mesure que l'effet de la pile diminue. Elle décroît en raison de la quantité d'acide qu'on ajoute au liquide, et peut s'affaiblir encore par une nouvelle addition d'acide, après que la diminution d'effet de la pile l'a amenée jusqu'à une certaine valeur inférieure à la

[1] Je dois rappeler ici les expériences de M. Bigeon (Ann. Ch. et Phys. XLVI, 85), celles de M. Ritchie (Bibl. Univ., Janv. 1831, p. 9), et celles de M. Pfaff (Schw. Jahrb., LV, 258), qui concordent avec ces résultats.



première. Au moment où on ferme la pile, elle est la même pour les deux plaques; mais elle devient, par la suite, plus grande pour la plaque négative. Enfin, elle a une tendance particulière à sauter d'un degré à un autre, lorsqu'on change la force électro-motrice ou la résistance; c'est ce qui arrive dans l'eau acidulée, et surtout dans l'eau ordinaire.

La *surface excitatrice* est cette partie de la surface des plaques métalliques qui est en contact avec le liquide et attaquée par lui. Qu'on la divise en plusieurs fractions communiquant entre elles, ou qu'on la laisse entière, peu importe à la force de la pile. L'expérience montre, en outre, que cette force s'accroît proportionnellement moins que la surface excitatrice. Plus on augmente cette surface, plus le surcroît de force diminue proportionnellement, en sorte qu'on arrive à une limite où l'effet n'augmente plus, et c'est ce qui a lieu d'autant plus vite, que la résistance du fil qui ferme la pile est plus considérable. La grandeur de ce maximum est indépendante de la conductibilité du liquide; mais elle est d'autant plus petite, que la résistance du conducteur est plus grande.—Une augmentation dans la surface excitatrice contribue d'autant plus à un renforcement dans le courant, que la résistance du conducteur est plus faible, que la conductibilité du liquide est moindre, et, en général, que l'action de la pile a été plus prolongée.

Si l'on représente par
K la force du courant,
o l'unité de surface excitatrice,
m la valeur de son accroissement,
c une constante à déterminer par expérience,
on a la relation

$$K = \frac{1}{\frac{o}{m} + c} = \frac{m}{o + mc}$$

qui représente l'augmentation de la force de la pile produite par celle de la surface excitatrice.

Du reste, des expériences multipliées ont montré, qu'au commencement de la clôture de la pile, il est indifférent que la surface positive soit plus grande ou plus petite que la négative. L'effet de la pile décroît plus vite lorsqu'on oppose une surface positive plus grande à une négative plus petite, que dans le cas contraire. Pendant le cours de l'action, on rend le courant moins faible en diminuant la surface positive, qu'en diminuant la négative. Enfin, si l'on oppose à une surface positive une surface composée d'un métal positif et d'un métal négatif, on aura un arrangement équivalent à l'arrangement contraire, dans lequel on opposerait à une surface négative une surface composée d'un métal positif et d'un métal négatif, les rapports restant les mêmes. Ajoutons que le second arrangement produit, à mesure que l'action a lieu, une force de beaucoup supérieure à celle du premier.

M. Fechner a aussi fait une étude particulière de la combinaison des couples. Il a trouvé, qu'en général l'effet de la pile croît proportionnellement moins que le nombre des couples, et que même il n'en est pas augmenté lorsque la résistance du conducteur disparaît devant celle des couples, ou lorsque cette résistance croît dans le même rapport que le nombre des couples. De plus, par l'addition d'un nombre croissant de couples, on arrive à une limite, à partir de laquelle une nouvelle adjonction n'a plus d'effet sensible; mais plus la résistance du conducteur est grande, par rapport à celle des couples, moins ce maximum est vite obtenu. Enfin l'augmentation du nombre des couples contribue d'autant plus à la force de la pile, que la résistance du conducteur est plus grande, que la résistance des couples est plus petite, et que l'on est dans une période plus rapprochée du commencement de l'action. La formule exacte qui représente l'accroissement de force de la pile par celui du nombre des couples est

$$\frac{n\,A}{n\,P + c}$$

dans laquelle

A désigne la force électro-motrice d'un seul couple,

n le nombre des couples,

P la résistance d'un seul couple,

c la résistance du conducteur.

Le même physicien s'est occupé des diaphragmes (Zwischenbogen), et a formulé leur influence dans les énoncés suivants. Lorsqu'on interpose des plaques homogènes dans le liquide d'une pile, la force de l'appareil baisse, ce que l'on peut reconnaître immédiatement après qu'il est fermé. A cette époque, l'affaiblissement est exactement le même pour un couple zinc-cuivre, que les diaphragmes soient de l'un ou de l'autre de ces métaux. Mais l'effet décroît plus rapidement avec des plaques de cuivre qu'avec des plaques de zinc. L'affaiblissement est uniquement dû à une augmentation de la résistance, car la force électromotrice n'est nullement changée. Il est, au commencement, beaucoup plus fort dans l'eau ordinaire que dans l'eau acidulée; dans de l'eau très-acide, l'introduction de plusieurs plaques ne cause presque aucun décroissement d'effet au commencement de l'action. L'accroissement de la résistance totale est proportionnel au nombre des diaphragmes introduits. La résistance d'un diaphragme intermédiaire dans un liquide acide est, au commencement, exactement égale à la résistance du passage d'un couple excitateur de même surface; mais elle est beaucoup plus considérable dans l'eau ordinaire [1].

Quant à l'affaiblissement dans les piles galvaniques, considéré en général, on peut dire que, pour le rendre le plus lent possible, il faut employer une pile simple dont les surfaces excitatrices soient grandes, éloignées les unes des autres, et plutôt zinc-étain que zinc-cuivre, ou zinc-cuivre qu'étain-cuivre; il faut, en outre, se servir d'un long conducteur de jonction,

[1] M. Pohl s'était déjà occupé du même sujet (Pogg. Ann., XVI, 103, 108.)

et, comme liquide, d'une eau très-acidulée, ou mieux, d'une solution de sulfate cuivrique. — La seule chose qu'on puisse affirmer sur l'origine de cet affaiblissement, c'est qu'il dépend du changement chimique que subissent les plaques métalliques sous l'action du courant; changement qui, plus intense sur la plaque négative que sur la positive, augmente la résistance au passage et diminue la force électro-motrice. Quant aux questions de savoir de quelle nature est ce changement, comment il est provoqué par la pile, pourquoi il se manifeste davantage sur la plaque négative, l'avenir pourra seul répondre d'une manière satisfaisante.

Les résultats qui précèdent, sont ceux de plusieurs centaines d'expériences détaillées dans l'ouvrage du savant professeur de Leipzig. Ils feront, sans doute, comprendre combien il serait utile de présenter réunies, dans une traduction complète, toutes les conséquences dont je n'ai rapporté que les plus saillantes.

Les ouvrages de MM. Ohm et Fechner résument à eux seuls presque toutes les recherches faites en Allemagne pour découvrir les lois de la pile. On trouve, il est vrai, dans les recueils scientifiques de Kastner, de Schweigger, de Poggendorff, etc., quelques recherches dues aux deux mêmes savants ou à d'autres ; mais leur importance n'est pas suffisante pour les détailler dans ce compte rendu, d'autant plus que leurs conclusions concordent avec celles qui ont été indiquées précédemment.

§ II. — *Théorie de la pile.*

Quelle est la cause à laquelle on peut assigner la production du courant galvanique dans la pile hydro-électrique? C'est là, sans doute, une question bien intéressante, et qui a été résolue de manières très-diverses par les physiciens. MM. De la Rive, Parrot, Faraday, Becquerel, Peltier, etc., se prononcent pour l'action chimique, tandis que MM. Ohm, Fechner, Pohl, Poggendorff, Pfaff et d'autres en Allemagne, n'admettent que la

théorie du contact et de la force électro-motrice de Volta. Essayons de résumer les preuves que ces derniers apportent en faveur de leur opinion.

Dans un *Essai sur l'état électrique de la pile galvanique simple fermée, et sur l'explication de quelques points obscurs de sa théorie*[1], M. Ohm étudie l'état d'un élément zinc-cuivre, formant une lame soudée, large de trois quarts de pouce et longue de quatre. Il la courbe en arc, dont il réunit les extrémités avec un simple fil de coton mouillé d'eau distillée ; puis il recherche, à l'aide d'un excellent électroscope condensateur de Bohnenberger, la quantité d'électricité de ses différentes parties. On trouve ainsi ce que l'auteur avait déjà rencontré[2] dans la pile de Volta, dont les pôles sont unis par un conducteur humide ou par un fil de métal. Les variations que présente l'emploi de l'électroscope sont beaucoup plus grandes en apparence qu'en réalité.

M. Ohm revient sur l'expérience faite par M. De la Rive[3] avec un condensateur et une lame de zinc décapée, tenue par une pince de bois, expérience regardée comme incompatible avec la théorie du contact. Il montre qu'elle s'explique dans cette théorie, si l'on admet que la croûte d'oxide de zinc qui se forme est poreuse, et offre à l'eau un passage vers le métal non encore attaqué ; toutefois, c'est là une circonstance obscure. Un fait très-remarquable, et qui ressort des expériences de M. Ohm, c'est que les métaux peuvent se toucher par de grandes surfaces ou par le plus petit nombre de points possible, et qu'on peut faire passer par tous les états de grandeur ou de petitesse la conductibilité du liquide, ainsi que la distance des deux surfaces métalliques, sans que les parties des deux métaux, situées de part et d'autre des points de contact et près d'eux,

[1] Schw. Jahrb. 1832, III, 1 et 159. (LXIII.)
[2] Pogg. Ann., VII, 117.
[3] Ann. Ch. et Phys. XXXIX, 310.

cessent de montrer la même tension que dans la pile ouverte; de plus, cette constance s'observera également dans toutes les piles de forme ordinaire sur toute l'étendue (Ausdehnung) des métaux.

Si tant d'opinions diverses sur la théorie de la pile ont surgi depuis la découverte du multiplicateur de Schweigger, la faute en est non pas à l'instrument, mais à ceux qui l'ont employé d'une manière peu raisonnée. Opérez convenablement, et vous trouverez que les recherches de Walker [1], comme celles de Sir H. Davy, démontrent, contre l'assertion de M. Becquerel, qu'il y a production d'un courant par le contact d'un seul métal avec deux liquides différents, peu importe que ces deux liquides se touchent ou soient réunis par un troisième. Aussi peut-on admettre, jusqu'à preuve du contraire, qu'aucune électricité n'est produite au contact de deux liquides, que ceux-ci exercent ou non une action chimique l'un sur l'autre [2].

M. Ohm pense que Volta a eu tort de ne pas considérer, dans l'exposition de sa doctrine, l'électricité développée au contact des métaux avec les liquides. Il ajoute que la théorie chimique de l'action voltaïque mérite un examen d'autant plus sérieux, qu'elle a été exposée par des physiciens très-habiles. Mais, selon lui, il ne suffit pas, pour renverser le système opposé, de montrer que des liquides exerçant une action chimique différente, doivent produire une différence dans le courant électrique, car cette conséquence serait aussi naturelle dans la théorie de Volta que dans toute autre. Il reste à démontrer avant tout, que cette différence dans le courant dépend *immédiatement* de l'effet chimique, sans qu'on puisse la considérer comme un effet *médiat* causé par les nouveaux produits qui naissent de cette action. Cette dernière manière de voir reste entièrement à examiner,

[1] Pogg. Ann., IV, 316.

[2] Les résultats que M. Becquerel a obtenus et qui sont consignés dans les Annales de Chimie et de Physique, XLI, 11, semblent cependant être assez concluants. M. Fechner lui-même admet l'opinion du physicien français (Voy. *Repertorium*, I, 453).

et c'est parce qu'elle ne présente pas un semblable examen, que cette partie des recherches de M. De la Rive[1] n'a, suivant M. Ohm, nullement contribué à résoudre la question[2].

L'auteur examine quelques-unes des expériences dues au professeur de Genève, et leur oppose des conclusions contradictoires. On sait que M. Berzélius, puis M. De la Rive, ont découvert qu'une pile formée d'un zinc plongé dans une solution saturée de chlorure sodique et d'un cuivre immergé dans l'acide azotique, donne un courant contraire à la théorie du contact. M. Ohm répète l'expérience dans un tube en U, dont le coude est fermé par de l'asbeste, en faisant plonger le zinc dans une solution saturée d'azotate zincique. Un courant d'une grande force prend naissance à l'instant où la pile est fermée, et il a la même direction que dans les piles où le zinc est le métal le plus attaqué; c'est même ce résultat qui semble avoir conduit M. Berzélius à abandonner ses premières vues.

D'après M. De la Rive, puisque des métaux homogènes donnent un courant semblable à celui qu'on obtient avec des métaux hétérogènes, sauf cette circonstance qu'il est tantôt plus faible, tantôt plus fort, on ne peut, selon les expériences du chimiste suédois, attribuer la production de l'électricité au contact des deux métaux. Mais M. Ohm pense que la seule déduction qui s'ensuive, c'est que le contact peut n'être pas l'unique cause du courant. — De plus, de ce que ses expériences lui montrent qu'on peut apercevoir un effet, même là où il n'existe aucun contact des métaux, M. De la Rive déduit que ce contact n'en engendre aucun. Cette conclusion ne serait évidemment permise, qu'après avoir auparavant prouvé que le contact des métaux ne produit nulle action galvanique, ou n'en

[1] Ann. Ch. et Phys. XXXVII, 225; XXXIX, 297.

[2] M. Ohm ne paraît pas avoir connu les dernières recherches de M. de la Rive sur ce sujet, et en particulier son travail intitulé : *Recherches sur l'Électricité*.

cause qu'une très-petite. Ainsi toutes ces objections ne servent qu'à confirmer la théorie de Volta.

Restent les recherches d'une toute autre nature, par lesquelles M. De la Rive estime avoir prouvé, que l'expérience fondamentale de Volta est impossible sans une action chimique, laquelle serait, par suite, la source principale de la production d'électricité. Outre que celles de M. Pfaff[1] leur sont contraires, on peut dire que la nature poreuse et hygroscopique de la tige de bois qui retenait la plaque métallique oxidable et permettait de refaire l'expérience dans le vide[2], rendait le résultat incertain, et que la nullité d'action observée pouvait aussi dépendre de la non conductibilité du bois sec. — Quant à l'expérience faite avec le potassium et le sodium[3], M. Ohm comprend à peine comment on peut les donner comme concluantes, puisque ces métaux s'oxidaient dans l'azote et l'hydrogène, et qu'il n'était pas possible à la très-petite couche de pétrole, invisible à l'œil, dont ils restaient peut-être couverts, d'interrompre complétement la conductibilité galvanique. — Enfin, si la théorie chimique était la vraie théorie, on devrait pouvoir rendre visible l'électricité dégagée sur le zinc, sans l'interposition d'un autre corps métallique[4]; car on ne voit pas pourquoi de l'électricité ne devrait pas s'accumuler dans un condensateur, lorsqu'un de ses plateaux est de cuivre, ou mieux, d'or

[1] Elles ont été publiées dans les Ann. de Ch. et de Phys., XLI, 236; aussi me dispensé-je de les rappeler ici. — M. Pfaff s'est surtout distingué dans la discussion de la théorie de la pile. On lui doit l'article *Galvanismus* et les articles sur l'*Electricité* de la nouvelle édition du *Physikalisches Wörterbuch* de *Gehler*, la *Revision der Lehre vom Galvano-voltaïsmus*, plusieurs articles dans les journaux, notamment son travail tout récent *Ueber und gegen die Entwicklung der Electricität durch den chemischen Process, nebst einem Anhange von Versuchen über das elektromotorische Verhalten vieler flüssigen Leiter gegen Metalle*; Pogg. Ann. 1840, etc., etc.

[2] Ann. Ch. et Phys., XXXIX, 311.

[3] Ibid., 312.

[4] C'est précisément ce que l'expérience prouve avoir lieu. (R.)

ou de platine et l'autre de zinc, et qu'on les touche tous deux avec les doigts sans les séparer par un nouveau métal[1].

Un autre physicien allemand, M. le professeur Pohl, de Berlin, a, dans un ouvrage spécial et dans divers articles de journaux[2], émis quelques idées sur la théorie de la pile. Elles se résument à admettre une *activité polaire* des liquides conducteurs de l'électricité engendrée par le contact. Cette activité est telle, que lorsqu'un liquide est devenu électrique par son contact avec un métal ou un autre liquide, il présente, dans tous les cas, une électricité contraire à l'autre extrémité de sa surface. L'auteur essaie de prouver que la polarité avec laquelle, dans la pile fermée, les métaux opèrent la décomposition des conducteurs liquides, et agissent sur l'aiguille aimantée, est contraire à celle qu'ils montrent dans l'électricité de contact ordinaire[3].

M. Pohl s'est aussi occupé des différences qui existent entre les piles primaires et secondaires[4]. Il fonde son opinion sur ce principe, que dans la pile galvanique c'est le liquide et non le

[1] La physique doit aussi à M. Ohm d'autres recherches d'un haut intérêt. Citons entre autres ses *Versuche zu einer nähern Bestimmung der Natur unipolarer Leiter*, Schw. Jahrb. LIX, 385, et LX, 1.—*Versuch einer Theorie der durch galvanische Kräfte hervorgebrachten elektroskopischen Erscheinungen;* Pogg. Ann. VI, 459; VII, 45 et 117.—*Nachweisung eines Ueberganges von dem Gesetze der Elektricitätsverbreitung zu denen der Spannung;* Kastn. Archiv. XVI, 1 et 452.—*Nachweisung eines Zusammenhangs des Gesetzes der Elektricitätsverbreitung mit dem der Spannung;* Kastn. Archiv. XVII, 1 et 452.

[2] *Der Process der galvanischen Kette.*—Voy. aussi Pogg. Ann. III, 183 (1825). M. Pohl est l'auteur de divers travaux et de deux autres ouvrages intitulés : *Ansichten und Ergebnisse über Magnetismus, Elektricität und Chemismus.* Berlin in-8 1829. — *Der Elektromagnetismus theoretisch-praktisch dargestellt.* Berlin 1830. — Voyez dans Kastn. Archiv. XVI, 247, une discussion entre l'auteur et le rédacteur à l'occasion du premier de ces livres.

[3] M. Pohl fait à cette occasion une sortie véhémente contre les travaux de M. Becquerel, et l'électromètre qu'il a employé; nous garderons le silence sur cette lutte de personnalités.

[4] Pogg. Ann. XIV, 71 (1828).

métal qui est l'élément actif le plus important; que ce n'est point l'électricité, mais bien l'action chimique qui est la principale cause de l'efficacité de la pile, et que l'électricité et le magnétisme ne sont que des modifications dans les formes d'activité polaire de l'action chimique (*Elektricität und Magnetismus nichts als modificirte, polare Thätigkeitsformen des Chemismus sind*).

L'action galvanique n'est donc que le résultat du conflit entre l'effet voltaïque des métaux entre eux, et l'action chimique exercée par le liquide [1]. L'auteur reproche à M. De la Rive d'aller trop loin en niant la première, et M. Marianini d'avoir publié après lui les mêmes idées, mais coordonnées d'une manière moins philosophique [2].

L'expérience fondamentale sur laquelle se fonde M. Pohl, s'opère avec une *pile secondaire* (Ladungssäule) formée de plusieurs plaques homogènes, de cuivre, par exemple, séparées par une lame humide de carton ou de drap, et qui présente à une extrémité une plaque de zinc, à l'autre une de cuivre. Si ces plaques sont réunies par un fil métallique, elles forment un élément voltaïque simple, au travers duquel se propage un courant électrique. Ce courant est, pour ainsi dire, constitué d'une moitié positive, qui va du zinc au cuivre par toutes les plaques intermédiaires, et d'une moitié négative, qui part du cuivre et se dirige en sens contraire; ces deux moitiés produisant une égalisation réciproque (wechselseitige Ausgleichung), il en résulte un renouvellement perpétuel de ce double courant, ou, dans la théorie de Franklin, du courant qui marche du zinc au cuivre. Aussi, dans une pile pareille, n'est-il pas possible de démontrer sa présence; mais on y reconnaît souvent un changement régulier de polarité.

Cette manière de voir a amené, entre l'auteur et M. Pfaff,

[1] Pogg. Ann. XVI, 101.
[2] Ann. Ch. et Phys. XLV, 33.

une discussion intéressante. Le professeur de Kiel s'élève[1] contre les conclusions précédentes ; il leur oppose les résultats suivants de ses recherches.

Lorsque les plaques homogènes d'une pile secondaire sont mises en activité par l'union métallique d'un couple de plaques hétérogènes zinc et cuivre, et que les plaques intermédiaires communiquent paire par paire, au moyen d'un fil métallique, les premières ne montrent aucune polarité changeante. La polarité y est, au contraire, constante et opposée à celle des plaques excitatrices, laquelle diminue de l'extérieur à l'intérieur. En outre, tous les phénomènes d'une pile secondaire peuvent s'expliquer d'une manière satisfaisante, en admettant que du couple des plaques excitatrices naît, dans la pile secondaire, un courant qui se propage dans une seule et même direction, opposée à celle du courant de ce couple. Ils s'observent *surtout* dans les piles secondaires faites avec des plaques de métaux qui ne prennent qu'une légère tension (tels que le zinc), tandis que dans celles dont les métaux prennent facilement une tension (tels que le cuivre), il peut arriver diverses anomalies qui ont leur source dans cette tension.

Des piles faites de plaques hétérogènes alternantes, mais construites comme les précédentes, ne montrent dans leur manière d'être aucune ressemblance avec elles ; leur polarité ou leurs courants électriques suivent tous la loi suivant laquelle des métaux hétérogènes entrent en tension électrique opposée par leur contact métallique réciproque.

Lorsqu'on offre à des courants électriques divers chemins de conductibilités diverses pour s'égaliser, il peut arriver qu'ils en choisissent d'opposés, pourvu qu'en définitive ceux-ci les mènent au même but, etc.

Enfin, parmi les divers expérimentateurs qui se sont occupés de la théorie de la pile, je citerai encore M. le professeur

[1] Pogg. Ann. XLIX, 461 (1840).

Poggendorff de Berlin, l'illustre rédacteur des *Annales de chimie et de physique* allemandes. Entre autres travaux dont la science lui est redevable, se distingue celui qu'il vient tout récemment de publier *Sur les piles galvaniques formées de deux liquides et de deux métaux qui ne se touchent pas*[1]. L'auteur y examine les trois arguments avancés par M. Faraday, dans ses *Experimental Researches*, à l'appui de la théorie chimique de la pile.

Il remarque que le premier, l'étincelle obtenue lorsqu'on ferme la pile simple, a contre lui les expériences de M. Jacobi[2], dans lesquelles un intervalle d'air de $0^{pouce},0005$ a suffi pour empêcher le passage d'une étincelle entre les pôles d'une forte pile zinc et platine, et celles de M. le professeur Draper de New-York[3], qui n'en a obtenu aucune dans le vide barométrique, au contact immédiat du mercure et du fil qui fermaient une pile simple.

M. Faraday appuie son opinion de la belle *loi électrolytique* qu'il a découverte, savoir que *les quantités des corps décomposés dans chaque auge d'une batterie galvanique, sont dans le rapport des équivalents chimiques*. Mais cette loi ne prouve rien quant à la cause de l'électricité; sa seule signification est qu'il faut des quantités égales d'électricité pour décomposer des équivalents.

Le troisième argument est la supériorité d'une pile zinc, platine et acide sulfurique, sur celle que les mêmes métaux formeraient avec l'iodure de potassium. Il a pour lui quelque chose de si spécieux, que M. Poggendorff l'a soumis à un sévère examen. Ce physicien a formé des piles avec le platine, l'argent, le cuivre, le fer, l'étain et le zinc ordinaire, distillé ou amalgamé. Tous ces métaux avaient même surface ($3\frac{1}{2}$ pouces

[1] Pogg. Ann. XLIX, 31 (1840).
[2] Pogg. Ann. XXIV, 633.
[3] Philos. Mag. Ser. III, vol. XV, 319.

sur un) et plongeaient dans divers liquides, tels que l'eau, les acides sulfurique, nitrique, etc. Deux vases recevaient un couple hétérogène semblable, et les plaques de même nom étaient réunies par autant de fils de cuivre dont un était celui du multiplicateur. — Les expériences de M. Poggendorff l'ont conduit à reconnaître que la valeur du numérateur de la formule [β] de M. Ohm (dont la théorie ne paraît pas être connue de M. Faraday), c'est-à-dire la grandeur de la force électromotrice, est en général changée par chaque substance qu'on ajoute à l'eau, que ce soit ou non un électrolyte; elle est tantôt accrue, tantôt diminuée, et, chose remarquable, cela a lieu pour la même substance ajoutée à l'eau en même proportion et en présence de diverses combinaisons métalliques. M. Poggendorff n'a également trouvé aucun rapport direct entre cette force et la valeur de l'affinité du métal positif pour la partie négative du liquide : il est des cas où elle est forte, tandis que l'affinité est faible, et vice versâ. On trouve souvent un courant qui peut être très-intense, là où on ne devrait attendre aucune action à en juger d'après l'affinité.

Après avoir montré combien ces recherches sont peu d'accord avec les idées des partisans de la théorie de l'action chimique, l'auteur termine en remarquant que tous les cas bien examinés soit dans son travail, soit par M. Fechner[1] et par d'autres, démontrent, de la manière la plus claire, qu'il n'y a aucune dépendance entre l'énergie d'action chimique du liquide sur le métal positif et la grandeur de la force électromotrice mise en jeu. D'autre part, il n'est pas prouvé que l'action locale en soit changée en circulatoire ou atténuée[2]. La théorie du contact qui explique tous les faits sans recourir à des hypothèses, comme c'est le cas de la théorie opposée, doit donc être conservée suivant M. Poggendorff.

[1] Pogg. Ann. XLIII, 433, et ailleurs.

[2] Voy. les *Experimental Researches* de M. Faraday §§ 947, 996, 1120, ou Pogg. Ann. XXXV, 33 et 236, XXXVI, 505.

A ces détails, qui ont été puisés dans les ouvrages de divers physiciens, je joindrai quelques mots sur certaines expériences qu'ils m'ont communiquées oralement.

M. Fechner s'est servi, dans quelques-unes de ses recherches, d'un rhéomètre formé d'un fil ayant un diamètre de 0,mm33 environ, et 20,000 pieds de Paris de longueur ; il est muni d'un système astatique d'aiguilles fort grosses. C'est à l'aide de cet instrument que l'auteur des *Maasbestimmungen* a répété diverses expériences dues à M. De la Rive. Il a trouvé un courant bien marqué avec l'or et le platine plongés dans l'acide azotique, et en a obtenu un plus intense en ajoutant à l'acide une goutte d'azotate d'argent ; dans ce cas, l'or devient négatif[1].

M. Poggendorff montre que, contrairement aux opinions de MM. De la Rive et Faraday, la quantité d'électricité dégagée n'est pas proportionnelle à l'action chimique, en plongeant dans la même liqueur acide deux morceaux du même zinc, dont l'un est très-gros par rapport à l'autre ; malgré la différence d'action définitive, aucun courant n'apparaît au rhéomètre qui réunit les deux fragments.

Il ajoute un *experimentum crucis* dû à M. Fechner, et qui consiste à prendre deux couples cuivre et zinc parfaitement semblables, à réunir les cuivres par un fil métallique, et les zincs par celui d'un multiplicateur : on n'obtient aucun courant si les deux couples plongent dans l'eau pure, mais il s'en produit un très-fort, et dont le sens est inverse de celui qu'assigne la théorie chimique, lorsque la liqueur de l'un des vases est acide.

Enfin, M. Ohm pense que le changement de polarité électrique des métaux nobles, suivant qu'on les plonge dans les acides

[1] Cette expérience est tout à fait d'accord avec celles où je montre que le platine peut être attaqué très-légèrement il est vrai, mais cependant d'une manière sensible, par l'acide nitrique. (A. DE LA RIVE.)

ou dans les alcalis, est un fait de contact inexplicable dans la théorie chimique.

Il me serait facile d'étendre ce compte rendu au delà des limites dans lesquelles je le renferme [1]. J'espère toutefois en avoir assez dit pour caractériser le terrain sur lequel se sont placés, en Allemagne, les partisans du système de Volta. Je m'estimerai heureux, si ces lignes peuvent engager les physiciens français et anglais à tenter de nouvelles expériences, et à hâter ainsi la solution de l'intéressant problème de la théorie de la pile.

Lausanne, janvier 1841.

[1] C'est ainsi que je ne parle point de l'écrit intitulé *Ueber die Elektricität der galvanischen Kette* qu'a récemment publié à Göttingen M. Henrici, et dans lequel les idées de M. Pfaff sont reproduites, ni de divers articles de MM. Buff (*Ueber den Einfluss des Contacts und der Oxydation auf die Entwicklung und Fortdauer des elektrischen Stromes*. Ann. der Pharmacie, XXXIV. Heft. 2, 1840, et *Ueber die veränderliche Stärke galvanisch-elektrischer Erregungen*, ibid. Heft 3), Böttger (*Vermischte physikalische Erfahrungen* (Pogg. Ann. L), Lenz, Jacobi, etc. — Je me bornerai à annoncer que M. le Prof. Buff à l'exemple de Davy et Jäger (Gilb. Ann. XI, 316) cherche à allier la théorie du contact avec celle de l'action chimique.

OBSERVATIONS SUR L'ARTICLE DE M. WARTMANN, RELATIF AUX TRAVAUX ET AUX OPINIONS DES ALLEMANDS SUR LA PILE VOLTAÏQUE, par M. le Prof. A. DE LA RIVE.

M. le professeur Wartmann a bien voulu, sur ma demande, exposer, dans l'article qui précède, les opinions et les travaux des savants allemands sur le sujet de l'électricité voltaïque. J'estime qu'il aura par là rendu un grand service aux physiciens étrangers à l'Allemagne, dont la plupart ne connaissaient pas, ou ne connaissaient qu'imparfaitement ces opinions et ces travaux. Cette exposition, faite avec clarté et précision, n'a pu aborder en détail toutes les questions traitées par les savants allemands; aussi je compte insérer textuellement dans notre prochain numéro quelques-uns des travaux les plus récents de MM. Fechner et Poggendorff, dont M. Wartmann n'a pu dire que quelques mots au milieu du vaste sujet qu'il avait à parcourir, et sur lesquels, d'ailleurs, il compte lui-même revenir. Je tiens, en effet, à ce que les lecteurs de ce recueil connaissent en détail toutes les recherches qui ont été faites et qui seront faites sur la théorie de la pile, afin que les questions qui s'y rattachent puissent être discutées d'une manière solide et péremptoire. C'est dans ce but également que je publie aujourd'hui le mémoire de M. Faraday, et que j'insérerai dans le prochain numéro un résumé des recherches de M. Marianini.

Je ne compte point discuter, à mesure que je les ferai connaître au public, les différents travaux et les différentes opinions qui auront pour objet l'électricité voltaïque. Cette discussion trouvera naturellement sa place dans les mémoires que je ferai de mon côté, et que j'insérerai également à mon tour dans notre recueil. Toutefois, il me serait difficile de laisser passer l'article intéressant de M. Wartmann sans présenter quelques

courtes observations, moins sur les opinions mêmes des savants allemands, que sur la manière dont ils envisagent celles des autres, et en particulier les miennes.

Deux motifs principaux me paraissent avoir, *a priori*, influé sur la faveur dont jouit en Allemagne la théorie du contact dans l'électricité voltaïque.

Le premier, c'est qu'elle est fondée sur l'idée de la distinction des corps en électro-positifs et électro-négatifs, idée dont Berzélius a fait la base de sa théorie électro-chimique. Or, comme les opinions de Berzélius ont et doivent avoir une grande influence sur les chimistes allemands, qui sont presque tous ses élèves, on conçoit qu'il y ait de leur part une grande prédisposition à adopter une théorie qui est en rapport avec ces opinions.

Le second motif, c'est que Ohm, savant allemand, a donné, dans l'ouvrage que M. Wartmann a analysé, une consistance remarquable à la théorie du contact, en la soumettant au calcul et en lui imprimant ainsi une rigueur mathématique. Il a fait plus; il a cherché à remonter à l'origine de l'électricité de contact, en la faisant découler de certains principes primordiaux sur l'état électrique, ou, comme il l'appelle, *électroscopique* des corps, qui ne m'ont pas paru parfaitement clairs. L'ouvrage de Ohm fait actuellement autorité en Allemagne auprès de la plupart de ceux qui s'occupent d'électricité; il n'est donc pas étonnant que l'idée fondamentale sur laquelle il repose, soit généralement admise.

Les deux motifs que je viens d'énoncer, quoique pouvant expliquer la prédisposition qu'ont les savants allemands pour la théorie du contact, ne suffiraient pas pour la leur faire adopter, s'ils n'estimaient pas qu'elle est d'accord avec les faits. Or, comme les Allemands sont des observateurs éclairés et consciencieux, leur opinion doit avoir un grand poids; il est donc nécessaire, quand on ne la partage pas, d'exposer ses raisons avec soin, d'autant plus que la manière dont ils énon-

cent leurs idées est tellement affirmative, qu'elle contribue à leur donner une autorité qu'il est difficile d'ébranler auprès de ceux qui l'ont acceptée.

Comme je l'ai dit, ce n'est ni le lieu, ni le moment de venir discuter les objections qu'on peut faire à la théorie du contact, ni celles que les Allemands ont faites contre la théorie chimique. Je tiens seulement à rectifier en peu de mots la manière dont ils envisagent cette dernière théorie, afin de ne pas paraître, par mon silence, accepter les attaques dont elle est l'objet de leur part. Je me permettrai, cette fois encore, une seule remarque préliminaire, qui touche à la partie générale du sujet.

Il est un point qui m'a constamment frappé, c'est que, tandis que la théorie du contact, fondée sur des principes *a priori*, a été en général adoptée par les savants plus théoriciens que praticiens, la théorie chimique a été presque toujours soutenue chaudement par les physiciens qui ont beaucoup fait usage de la pile voltaïque. Il est en effet difficile, pour peu qu'on soit familiarisé avec la pratique des piles passablement actives, de ne pas bien vite apercevoir, dans mille circonstances plus ou moins importantes, l'influence réelle qu'exerce l'action chimique dans la production de l'électricité voltaïque. Ainsi la théorie chimique est née de l'étude de l'appareil même, et de cette étude on est remonté à l'explication des expériences de Volta et de Galvani, dans lesquelles l'action chimique apparaît d'une manière moins évidente. Ce sont, au contraire, ces expériences primitives qui ont donné naissance à la théorie du contact, par laquelle on a voulu ensuite expliquer le développement de l'électricité dans la pile voltaïque. On conçoit donc facilement que ce point de départ, si différent pour l'une des théories de ce qu'il a été pour l'autre, influe notablement sur la manière dont on envisage le sujet. Il est par conséquent facile de comprendre comment il se fait que l'Angleterre, pays essentiellement pratique, soit favorable à la théorie chimique, tandis

que l'Allemagne, pays éminemment de principes et de théorie, adopte de préférence la théorie du contact. La France et l'Italie sont plus partagées; la première, pourtant, semblerait pencher plutôt vers la théorie chimique, et la seconde vers celle du contact.

Les physiciens qui attaquent la théorie chimique ont, en général, l'habitude de poser comme principe que, dans cette théorie, quelles que soient la forme ou les circonstances dans lesquelles l'électricité se présente, l'intensité de cette électricité doit être proportionnelle à l'énergie de l'action chimique. Première erreur qu'il est important de signaler, afin de ne pas en accepter les conséquences. Une seconde erreur que commettent les mêmes physiciens, c'est de négliger complétement les petites actions chimiques, ou tout au moins, en partant du premier principe, de n'en tenir presque aucun compte dans la production de l'électricité. Je suppose qu'on abandonne ces deux erreurs, et l'on verra que le plus grand nombre des objections qu'on a faites contre la théorie chimique tomberont immédiatement.

Il est, par contre, certains principes que ceux qui attaquent cette théorie négligent complétement, et qui cependant sont indispensables pour pouvoir s'en faire une idée exacte.

L'un de ces principes consiste à distinguer dans la production de l'électricité par les actions chimiques, comme dans tout autre mode de production, l'électricité *perçue* de l'électricité *produite*. Une certaine action peut développer une quantité considérable d'électricité; mais si les deux principes séparés par cette action peuvent se recombiner immédiatement avec facilité, la proportion de ces deux principes, qui deviendra sensible, sera infiniment faible. Ainsi, quand on frotte l'un contre l'autre deux métaux, il y a un développement d'électricité considérable; mais à cause de la conductibilité électrique des deux corps frottés, il n'y a point de tension électrique, et à peine peut-il y avoir un courant dans un fil métallique par

lequel on réunit ces deux corps. Si, au contraire, l'un de ces deux corps, ou tous les deux, ne sont pas conducteurs de l'électricité, les deux principes séparés par le frottement donnent des effets de tension extrêmement sensibles, lors même que la quantité totale de l'électricité développée est peut-être moins considérable qu'avec des métaux. Je n'insisterai pas sur ce principe, qui trouve son application dans l'étude de toutes les sources de l'électricité, et dont l'exactitude est parfaitement démontrée par les faits.

Si nous l'appliquons en particulier à la production de l'électricité par les actions chimiques, nous comprendrons facilement pourquoi, par exemple, la tension électrique qu'acquiert une plaque de zinc plongée dans un acide est quelquefois moindre que celle qu'elle acquiert dans de l'eau pure, ou seulement quand elle est exposée à l'action oxidante de l'air ou de l'humidité de la main. Il y a, en fait, bien plus d'électricité produite dans le premier cas que dans les autres; mais à cause de la facilité avec laquelle les deux principes séparés peuvent se recombiner immédiatement, il y a bien moins de tension électrique. En général, les signes d'électricité qu'on perçoit, quand on étudie la production de cet agent par les actions chimiques ou par le contact, sont si faibles, qu'il suffit de la plus légère action pour les produire; ce qui détermine leur degré d'énergie sensible, c'est bien moins l'intensité de cette action que les circonstances qui facilitent ou empêchent la recomposition immédiate des deux électricités.

Un autre principe qu'il ne faut pas perdre de vue, c'est que, indépendamment de l'énergie de l'action chimique, la nature de cette action doit influer sur l'intensité de l'électricité produite. Il paraîtrait même que cette intensité serait en rapport avec le degré d'affinité plus ou moins grand qu'ont les uns pour les autres les éléments qui produisent l'action chimique.

En résumé, l'électrité perçue dans une action chimique, au lieu de dépendre uniquement de l'énergie de cette action, doit

être considérée comme une fonction à la fois de la quantité d'action chimique qui a lieu dans un temps donné, de la nature de cette action, et de la facilité plus ou moins grande que les deux principes électriques peuvent avoir à se recombiner immédiatement. Il faudrait pouvoir déterminer la forme de cette fonction pour chacun des trois éléments qui y entrent ; c'est ce qu'on ne pourra obtenir que par une étude expérimentale du sujet, faite avec soin. On conçoit dono maintenant très-bien, en tenant compte de tous ces éléments, et non pas d'un seul, comme on a l'habitude de le faire, comment il peut arriver, dans quelques cas, qu'une action chimique très-faible puisse donner lieu à de grands effets, tandis qu'une forte action n'en produira que de très-peu considérables. Et c'est cependant de la considération de cas de ce genre qu'on tire, en général, les plus fortes objections contre la théorie chimique.

Je ne terminerai pas ces observations sans dire un mot de l'un des arguments les plus forts en faveur de la théorie du contact ; il est tiré des expériences dans lesquelles on a obtenu des signes électriques par le contact de substances hétérogènes, sans action chimique apparente. Je me bornerai pour le moment à deux remarques sur ce point. — La première consiste dans la difficulté qu'il y a à exclure toute action chimique. On croit agir dans le vide, mais il reste encore un peu d'air ou d'humidité ; on croit agir sur des corps incapables d'éprouver une action chimique, mais on voit des métaux, tels que le platine, susceptibles de s'oxider légèrement à l'air ; on ne peut donc pas affirmer d'une manière bien positive qu'il n'y a pas une action chimique, malgré toutes les précautions qu'on a prises pour l'éviter. D'ailleurs, il est bien difficile de se mettre également à l'abri de toute action physique et mécanique. — La seconde remarque, c'est que l'intensité des signes électriques, toujours si faibles dans le cas dont il s'agit, dépend bien moins, dans les circonstances où l'on opère dans ce genre d'expériences, de l'énergie de l'action chimique que des autres éléments que

j'ai indiqués; on ne peut donc pas en tirer des conséquences sur l'influence plus ou moins grande que peut avoir cette énergie, quant à la quantité d'électricité qui est perçue.

Enfin, il est des cas où, après avoir réussi à se mettre à l'abri de toute espèce d'action soit chimique, soit autre, on a contact sans aucun signe d'électricité. Je sais qu'on a cherché à expliquer, sans abandonner la théorie du contact, l'absence des signes électriques dans les cas dont je parle; mais je ne trouve pas qu'on y ait réussi.

Je ne parlerai pas de ces changements de polarité que manifestent tant de corps, changements inconciliables avec la théorie de l'échelle électrique des corps; j'ignore comment on peut expliquer, par exemple, que le platine puisse être tantôt négatif, tantôt positif par rapport à l'or. On parle d'altérations qu'éprouvent les métaux, et qui modifient leur polarité électrique; mais on ne le prouve point, et il est même des cas où ces changements de polarité ont lieu dès l'origine, et avant que ces altérations aient pu être produites.

Je m'arrête : les idées que je viens d'exposer ont besoin d'être plus développées que je ne puis le faire dans ce moment. J'y reviendrai en les appuyant sur les faits qui m'y ont conduit, et en rapportant les expériences que j'ai tentées encore dernièrement en vue de m'éclairer sur ce sujet, et d'étudier avec conscience et impartialité les arguments qu'on a récemment mis en avant en faveur de la théorie du contact, en opposition à la théorie chimique. Je n'avais pour le moment d'autre but, comme je l'ai dit en commençant, que de réclamer contre la manière dont les savants allemands représentent cette dernière théorie, et de ne pas avoir l'air d'accepter, par mon silence, ni pour la forme, ni pour le fond, les objections qu'ils font contre la théorie chimique de la pile voltaïque.

MÉMOIRE SUR LA DIATHERMANSIE ÉLECTRIQUE DES COUPLES MÉTALLIQUES, par M. le Prof. Elie WARTMANN. (*Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève*, tome IX, première partie.)

Plusieurs physiciens, à la tête desquels se placent MM. Becquerel et Peltier, ont étudié les relations qui existent entre un courant électrique et les phénomènes d'échauffement qui le produisent ou l'accompagnent.

M. Becquerel[1] s'est plus spécialement occupé des changements qui s'opèrent dans l'état électrique des corps par l'action de la chaleur. Il a été conduit à admettre que le calorique exerce sur l'électricité naturelle des métaux une action telle que, semblable au fond, elle varie d'intensité suivant la nature du métal. C'est un fait qu'on démontre aisément à l'aide d'un rhéomètre[2], en joignant ses extrémités à celles d'un fil dont on élève la température en un seul point. Si ce fil est homogène et d'un métal peu ou point oxidable, le courant va de l'extrémité chaude à celle qui est froide; l'inverse a lieu avec un métal électro-négatif. Si le circuit est formé de deux métaux différents, il y a absence de courant lorsque les deux soudures sont à la même température, ainsi que dans certains cas où cette condition n'est pas remplie. Les couples zinc et or, zinc et argent, présentent des phénomènes singuliers de renversement des courants quand les soudures métalliques possèdent des différences plus ou moins considérables de température.

[1] Annales de Chimie et de Physique, XLVI, 265. ss.
[2] L'auteur appelle *rhéomètre* le galvanomètre multiplicateur. (R.)

M. Peltier[1] a abordé la question par sa face opposée; il a cherché la loi suivant laquelle s'échauffent les conducteurs métalliques traversés par un courant voltaïque. Je rappellerai ici les résultats de ses recherches qui ont servi de point de départ aux miennes.

Au moyen d'une pince thermoscopique très-sensible dont une mâchoire était de bismuth, l'autre d'antimoine, cet habile expérimentateur a reconnu d'abord qu'un courant électrique échauffe tout conducteur homogène. L'élévation de température est la même dans toute sa longueur, sauf à ses extrémités; là, elle augmente ou diminue, selon que le métal est lié à un corps moins bon ou meilleur conducteur que lui. Un même courant, mesuré au rhéomètre, échauffe de la même quantité le fil qu'il traverse, quelle que soit la longueur de ce fil; mais si la section devient moitié ou le courant double, l'échauffement est triple.

M. Peltier a appliqué le même mode d'investigation au cas de conducteurs hétérogènes, et il a constaté que la température de la soudure de deux métaux différents varie avec le sens du courant; elle est ordinairement le plus forte lorsque le courant négatif passe du meilleur conducteur dans le moins bon. Le bismuth se comporte par exception, dans tous les cas, comme le meilleur conducteur, c'est-à-dire qu'il donne toujours une élévation de température quand un courant positif entre par le métal auquel il est soudé.

Enfin, un des phénomènes les plus extraordinaires que l'expérience lui ait révélés, c'est un refroidissement produit par un courant électrique à la soudure de deux lames d'antimoine et de bismuth, lorsque le courant positif marche de la seconde à la première; le thermoscope à air a confirmé l'exactitude de l'indication rhéométrique. Ce phénomène est hors de ligne, et n'a encore ni analogue, ni explication dans la science. Il de-

[1] Annales de Chimie et de Physique, LVI., 371. ss.

mande une étude approfondie, et l'épreuve devrait être répétée dans un thermoscope plein d'hydrogène ou d'azote pur et sec, afin de savoir si l'oxigène n'y joue pas quelque rôle[1].

En résumé, on doit à M. Peltier la connaissance des deux faits principaux suivants :

1° Un circuit homogène est toujours échauffé par un courant électrique.

2° Les *soudures* de divers circuits hétérogènes subissent des variations d'échauffement, suivant le sens du courant qui les traverse.

J'ai pensé qu'il ne serait peut-être pas sans intérêt de reprendre ces expériences, de les varier et de les étendre à un très-grand nombre de couples métalliques. La concomitance des phénomènes électriques et calorifiques se lie aux questions les plus délicates de la physique ; et, en l'absence d'un organe spécial pour la chaleur analogue à celui dont nous sommes doués pour la lumière, cette connexion nous offre peut-être la seule voie commode pour étudier mieux qu'on ne l'a fait jus-

[1] M. Dove ajoute au compte rendu des recherches de M. Peltier, inséré dans le *Repertorium der Physik* qu'il publie à Berlin, quelques détails sur les expériences de M. L. Moser, son collaborateur. Celui-ci a trouvé que la production du maximum de froid nécessite, aussi bien que l'échauffement, une action prolongée de la pile galvanique, et que des piles trop grandes n'engendrent aucun froid (Tome I, p. 354. — Berlin, 1837).

Du reste, un physicien russe, M. Lenz, est parvenu, il y a quelques mois, à congeler de l'eau par cette nouvelle source de froid. Une goutte du liquide doit être, à cet effet, versée dans une cavité pratiquée à la soudure des deux métaux. Ce petit appareil, aussi simple qu'ingénieux, se trouvé maintenant dans tous les cabinets de physique de l'Allemagne. — Le refroidissement est également facile à démontrer au moyen d'un thermomètre différentiel de Leslie ; au centre de l'une des boules on fixe hermétiquement la soudure d'un barreau bismuth-antimoine. L'effet est alors très-prononcé.

qu'ici le premier de ces mystérieux agents. Ces raisons m'ont engagé à m'occuper d'un sujet aussi intéressant ; mais je me suis surtout attaché à déterminer la *Diathermansie électrique* des divers couples métalliques, c'est-à-dire les quantités de chaleur qu'ils laissent passer lorsqu'ils sont traversés par un même courant thermogène[1].

J'ai rejeté le thermoscope à air, parce que je ne voulais pas rechercher ce qui a lieu aux *soudures* des deux métaux des couples, et parce qu'il est d'un usage presque impraticable lorsqu'il faut introduire dans sa boule une série de barreaux. Je n'ai pas employé le rhéomètre multiplicateur pour ne point devoir tenir compte des effets perturbateurs de courants d'une longue durée, et aussi afin de ne pas placer dans le circuit un grand développement de fils métalliques. J'ai fait choix, pour mesurer les quantités de chaleur conduites, du thermomètre de Bréguet, muni de l'ingénieux appendice imaginé par M. De la Rive.

Celui qui a servi à mes expériences a été construit à la fin de 1839. L'hélice est composée d'argent, d'or et de platine ; elle présente quarante-six tours libres de spire. Elle est suspendue à une potence de cuivre pur qui communique par son pied à l'extérieur du socle de l'appareil, et elle se termine au-dessous de l'aiguille par une pointe de platine dirigée suivant l'axe du cylindre creux formé par les révolutions de la lame. Cette pointe plonge dans une capsule de cuivre placée en contact métallique avec un barreau de même nature, dont l'extrémité sort du pied de l'instrument. Quelques gouttes de mercure bien pur, versées dans la capsule, établissent la communication avec l'hélice. L'aiguille parcourt un cadran gradué, et dévie de quatorze divisions pour une différence de température égale à 1° du thermomètre centigrade. Il est ainsi facile d'apprécier 0°,0714.

[1] L'auteur entend uniquement par les mots *courant thermogène*, un courant qui produit de la chaleur. (R.)

Les problèmes de conductibilité sont environnés dans leur solution de difficultés nombreuses, et dont il est souvent peu aisé de faire la part. Telles sont les différences que le rayonnement calorifique des conducteurs échauffés, qui varie dans le même temps avec la nature de leur surface, la température ambiante, etc., peut apporter dans l'appréciation thermométrique des quantités de chaleur qui passent. Telles sont celles que le contact plus ou moins parfait des métaux, leurs dimensions, l'état de netteté ou d'oxidation de leurs surfaces, etc., entraînent dans leur conductibilité électrique et calorifique. J'ai essayé d'éluder toutes ces causes d'erreur, qui exigent, pour être abordées de front, des ressources que la science n'offre pas encore. Dans ce but j'ai adopté les dispositions suivantes.

L'avantage de ne pas se servir du rhéomètre ne permettait pas d'employer une pile thermo-électrique à force constante, comme l'avait fait M. Peltier. Je l'ai remplacée par un grand élément à la Wollaston, formé d'une plaque de zinc bien amalgamé, plongeant dans une auge rectangulaire de cuivre rouge; des bouchons disposés dans le bas et sur les côtés séparent les deux métaux voltaïques. Le liquide est assez faiblement acidulé pour ne produire ni bouillonnement, ni odeur sensible. La partie immergée de la feuille de zinc est un carré de $0^m,35$ de côté.

Les conducteurs polaires sont deux très-gros barreaux de cuivre se terminant chacun dans un verre plein de mercure pur. Quatre autres verres, renfermant le même liquide, sont disposés à côté d'eux. Quatre lanières de cuivre rouge, larges de $0^m,02$ y plongent jusqu'au fond par un bout, tandis que l'autre, recourbé quatre fois, se termine par une surface horizontale, unie, destinée à supporter les extrémités des barreaux en expérience. Les deux derniers verres communiquent en outre chacun avec une des saillies métalliques du thermomètre, au moyen de lames semblables et convenablement arrangées.

Pour mettre l'appareil en jeu, il suffit de placer les extrémités des deux métaux qui constituent le couple sur les deux

supports qui sont de part et d'autre du thermomètre, et de faire communiquer les deux verres moyens avec ceux où arrivent les pôles de la pile, à l'aide de deux gros fils de cuivre; si le thermomètre a été calé avec soin, l'aiguille dévie immédiatement. Ces deux fils pouvant se mettre parallèlement ou en croix, sans jamais être en contact, forment une bascule mobile qui permet de changer instantanément et à volonté le sens du courant, sans rien toucher à l'appareil.

Toutes les parties plongées dans le mercure sont amalgamées. Les barreaux métalliques sont décapés avant chaque expérience avec du papier à l'émeri, afin d'annihiler l'influence d'une croûte d'oxide. Enfin, des poids de verre placés à la surface des conducteurs rendent leur contact avec les supports plus parfaits, quand cela est nécessaire, sans influer sur l'effet calorifique (comme M. Peltier l'a démontré en prouvant que la température d'un conducteur, dont une partie est refroidie, par exemple par immersion dans l'eau, reste invariable).

Cette disposition place les deux métaux constituant le couple dans des circonstances qui ne subissent aucun changement pendant toute la durée de l'expérience. Elle anéantit l'influence des variations de température atmosphérique, puisque la torsion développée dans l'hélice par la chaleur du courant est toujours proportionnelle à cette chaleur, quelle que soit la température initiale de cette hélice, du moins entre des limites qui n'ont jamais été dépassées.

Il restait encore à détruire l'effet des variations d'intensité d'action chimique dans la pile, et celui de l'inertie de l'hélice. Pour y parvenir, on a fait passer successivement le même courant en direction inverse dans le même couple, et on n'a, en général, pris note des résultats qu'à partir de la deuxième observation. Ces observations ont été faites par séries répétées de cinq dans un sens, et de cinq dans le sens opposé, et on n'a tenu compte que des moyennes. Enfin, dans chaque nouvelle série, on a retourné bout à bout l'un des métaux du couple, pour anéantir la propriété que quelques-uns acquièrent de

livrer passage à un courant d'autant mieux qu'ils en sont traversés depuis plus longtemps dans le même sens.

Les métaux que j'ai passés en revue sont au nombre de quatorze, savoir :

Acier, antimoine, argent, bismuth, cadmium, cuivre, étain, fer, laiton, mercure, or, platine, plomb, zinc.

L'acier et le laiton, dont l'usage est si journalier en physique, et la composition si facile à déterminer, méritaient de trouver place dans ces recherches.

L'argent, le cuivre, l'étain, le fer, le laiton, le plomb et le zinc avaient la forme de cylindres de $0^m,121$ de long, et de $0^m,009$ de diamètre. L'antimoine et le bismuth étaient des parallélipipèdes de $0^m,046$ de long, $0^m,016$ de large, et $0^m,004$ d'épaisseur. L'acier, le cadmium et l'or étaient des fils de $0^m,035$ de long, et de $0^m,001$ de diamètre. Enfin, le platine était une feuille de $0^m,110$ de long, $0^m,0165$ de large, et épaisse de $0^m,0003$.

Ces quatorze métaux, arrangés deux à deux de toutes les manières possibles, fournissent quatre-vingt-onze couples différents, qui ont été soumis à plus de deux mille épreuves. Le tableau suivant présente les résultats obtenus ; il donne :

1° Les numéros d'ordre ;

2° Les noms des couples dans l'ordre alphabétique ;

3° Les nombres d'observations doubles, c'est-à-dire dan deux sens opposés, du même courant ;

4° Les sommes des déviations obtenues dans chaque observation partielle ;

5° Les déviations moyennes, soit le quotient de la somme des déviations divisée par leur nombre ;

6° Enfin, les différences entre ces moyennes déviations engendrées par les alternatives de sens du courant. Ces différences sont affectées des signes + ou —, suivant que le courant entrant par le métal le premier nommé, produit plus ou moins de chaleur que lorsqu'il entre par l'autre.

Les initiales E et S indiquent les quantités qui se rapportent

à l'entrée ou à la sortie du courant par le métal dont le nom est dans la colonne de gauche. Ainsi, pour le couple acier-antimoine il y a eu trente-huit observations faites, le courant voltaïque allant de l'acier à l'antimoine, et autant d'observations, en le faisant passer de l'antimoine à l'acier. Dans le premier cas, la somme des déviations a été de 3632 divisions du cadran du thermomètre de Bréguet, ce qui donne en moyenne une déviation de 95°,57. Dans le second, la somme des déviations a été de 3802°, et la moyenne de 100,05. Celle-ci l'emporte sur la première de 4°,48.

Numéros d'ordre.	NOMS des couples.		Nombre d'observations doubles.	SOMMES des déviations.		Déviations moyennes.		Différences.
				E	S	E	S	
1	Acier.	Antimoine.	38	3632°	3802°	95°,57	100°,05	− 4°,48
2	—	Argent.	7	1231	1219	175, 85	174, 14	+ 1, 71
3	—	Bismuth.	15	923	912	61, 53	60, 80	+ 0, 73
4	—	Cadmium.	20	2671	2666	133, 55	133, 30	+ 0, 25
5	—	Cuivre.	25	5033	5061	251, 65	253, 05	− 1, 40
6	—	Etain.	10	1484	1496	148, 40	149, 60	− 1, 20
7	—	Fer.	5	703	706	140, 60	141, 20	− 0, 60
8	—	Laiton.	20	2114	1983	105, 70	99, 15	+ 6, 65
9	—	Mercure.	19	3201	3200	168, 47	168, 42	+ 0, 05
10	—	Or.	15	3511	3534	234, 06	234, 93	− 0, 87
11	—	Platine.	14	2282	2256	163, 00	161, 14	+ 1, 86
12	—	Plomb.	35	5312	5340	152, 57	151, 77	+ 0, 80
13	—	Zinc.	31	4597	4204	148, 29	135, 61	+12, 68
14	Antimoine.	Argent.	7	1046	1046	149, 42	149, 42	0, 00
15	—	Bismuth.	25	4615	3347	184, 60	133, 88	+50, 72
16	—	Cadmium.	22	4088	4129	185, 81	187, 68	− 1, 87
17	—	Cuivre.	19	5374	5296	282, 84	278, 73	+ 4, 11
18	—	Etain.	75	11966	12429	159, 54	165, 72	− 6, 18
19	—	Fer.	19	3230	3271	170, 00	172, 15	− 2, 15
20	—	Laiton.	20	5880	5618	294, 00	280, 90	+13, 10
21	—	Mercure.	11	1686	1707	153, 27	155, 18	− 1, 91
22	—	Or.	7	2412	2417	344, 57	345, 28	− 0, 71
23	—	Platine.	33	7475	7524	226, 51	228, 00	− 1, 49
24	—	Plomb.	57	13485	13472	236, 57	236, 35	+ 0, 22
25	—	Zinc.	15	1620	1604	108, 00	106, 93	+ 1, 07
26	Argent.	Bismuth.	10	1467	1382	146, 70	138, 20	+ 8, 50
27	—	Cadmium.	15	3566	3573	237, 73	238, 20	− 0, 47
28	—	Cuivre.	10	4069	4042	406, 90	404, 20	+ 2, 70
29	—	Etain.	5	1630	1637	326, 00	327, 40	− 1, 40
30	—	Fer.	25	7673	7727	306, 96	309, 08	− 2, 12
31	—	Laiton.	4	1698	1698	424, 50	424, 50	0, 00
32	—	Mercure.	7	1743	1742	249, 00	248, 85	+ 0, 15
33	—	Or.	5	1288	1279	257, 60	255, 80	+ 1, 80
34	—	Platine.	4	796	798	199, 00	199, 50	− 0, 50
35	—	Plomb.	9	3249	3262	361, 00	362, 44	− 1, 44
36	—	Zinc.	5	1558	1560	311, 60	312, 00	− 0, 40

Numéros d'ordre.	NOMS des couples.		Nombre d'observations doubles.	SOMMES des déviations. E	SOMMES des déviations. S	Déviations moyennes. E	Déviations moyennes. S	Différences.
37	Bismuth.	Cadmium.	32	4971°	4835°	155°,34	151°,09	+ 4°,25
38	—	Cuivre.	10	1461	1461	146, 10	146, 10	0, 00
39	—	Étain.	15	3796	3795	253, 06	253, 00	+ 0, 06
40	—	Fer.	15	2374	2363	158, 26	157, 53	+ 0, 73
41	—	Laiton.	10	1518	1470	151, 80	147, 00	+ 4, 80
42	—	Mercure.	20	4967	4937	248, 35	246, 85	+ 1, 50
43	—	Or.	19	6131	6163	322, 68	324, 36	− 1, 68
44	—	Platine.	57	7264	7738	127, 43	135, 75	− 8, 30
45	—	Plomb.	50	10243	10683	204, 86	213, 66	− 8, 80
46	—	Zinc	36	3966	3594	110, 16	99, 83	+10, 33
47	Cadmium.	Cuivre.	9	2754	2775	306, 00	308, 11	− 2, 11
48	—	Étain.	18	3720	3764	206, 66	209, 11	− 2, 45
49	—	Fer.	22	3775	3723	171, 50	169, 22	+ 2, 28
50	—	Laiton.	8	2531	2550	316, 62	318, 75	− 2, 13
51	—	Mercure.	10	1152	1146	115, 20	114, 60	+ 0, 60
52	—	Or.	15	1837	1842	122, 46	122, 80	− 0, 34
53	—	Platine.	10	1159	1159	115, 90	115, 90	0, 00
54	—	Plomb.	20	4233	4269	211, 60	213, 45	− 1, 85
55	—	Zinc.	5	1008	1008	100, 80	100, 80	0, 00
56	Cuivre.	Étain.	9	2048	2036	227, 55	226, 22	+ 1, 33
57	—	Fer.	5	1523	1520	304, 60	304, 00	+ 0, 60
58	—	Laiton.	7	1059	1067	115, 28	152, 42	− 1, 14
59	—	Mercure.	6	1924	1911	320, 66	318, 50	+ 2, 10
60	—	Or.	15	4387	4391	292, 46	292, 73	− 0, 27
61	—	Platine.	9	2770	2779	307, 77	308, 65	− 0, 88
62	—	Plomb	7	2336	2344	333, 71	334, 85	− 1, 14
63	—	Zinc.	16	4232	4236	264, 50	264, 75	− 0, 25
64	Étain.	Fer.	24	7497	7515	312, 37	313, 12	− 0, 75
65	—	Laiton.	10	3265	3261	326, 50	326, 10	+ 0, 40
66	—	Mercure.	6	1966	1966	327, 66	327, 66	0, 00
67	—	Or.	2	866	866	433, 00	433, 00	0, 00
68	—	Platine.	7	2383	2383	340, 43	340, 43	0, 00
69	—	Plomb.	12	3723	3718	310, 25	309, 83	+ 0, 42
70	—	Zinc.	8	1546	1541	193, 25	192, 62	+ 0, 63
71	Fer.	Laiton.	10	2499	2492	249, 90	249, 20	+ 0, 70
72	—	Mercure.	11	2101	2074	191, 00	188, 54	+ 2, 46
73	—	Or.	10	1065	1040	106, 50	104, 00	+ 2, 50
74	—	Platine.	11	3371	3352	306, 10	304, 72	+ 1, 38
75	—	Plomb.	15	4253	4217	283, 53	281, 13	+ 2, 40
76	—	Zinc.	26	6030	6085	231, 92	234, 03	− 2, 11
77	Laiton.	Mercure.	9	2459	2449	273, 22	272, 11	+ 1, 11
78	—	Or.	8	2868	2881	358, 50	360, 12	− 1, 52
79	—	Platine.	11	3371	3352	306, 10	304, 72	+ 1, 38
80	—	Plomb.	10	2968	2968	296, 80	296, 80	0, 00
81	—	Zinc.	34	9419	9475	277, 02	278, 67	− 1, 65
82	Mercure.	Or.	4	1129	1125	282, 25	281, 25	+ 1, 00
83	—	Platine.	5	1345	1349	269, 00	269, 80	− 0, 80
84	—	Plomb.	7	2223	2222	317, 57	317, 42	+ 0, 15
85	—	Zinc.	20	5372	5326	268, 60	266, 30	+ 2, 30
86	Or.	Platine.	7	1282	1279	183, 14	182, 71	+ 0, 43
87	—	Plomb.	2	815	815	407, 50	407, 50	0, 00
88	—	Zinc.	13	2275	2262	175, 00	174, 00	+ 1, 00
89	Platine.	Plomb.	9	2715	2705	301, 66	300, 55	+ 1, 11
90	—	Zinc.	20	5629	5698	281, 45	284, 90	− 3, 45
91	Plomb.	Zinc.	20	6425	6444	321, 25	322, 20	− 0, 90

Il est à remarquer que les nombres portés à la colonne des *différences* ne doivent pas être regardés comme absolus. Ils n'expriment que l'inégalité nulle ou réelle de diathermansie des métaux du couple, dans les circonstances où ils ont été placés. Ces différences sont comprises entre 0° et 50°,72, cas du couple antimoine-bismuth.

Les erreurs inévitables dans de longues expériences, telles que les incertitudes de lectures, les diversités d'inertie de l'hélice dues à la quantité plus ou moins grande dont la pointe de platine plonge dans le mercure de la capsule inférieure, les variations quelquefois un peu subites dans l'intensité de la pile, et surtout la tension polaire de celle-ci, produite par l'interruption du courant, et variable avec le temps mis par l'aiguille à revenir après chaque déviation à sa position initiale, toutes ces causes doivent faire regarder comme sensiblement égaux des résultats dont la différence n'excède pas 2°, soit 0°,143 C.

Cette concession faite, on a *assez approximativement* l'ordre suivant de diathermansie électrique, dans lequel chacun des métaux conduit moins bien que ceux qui le précèdent, mais mieux que ceux qui le suivent, lorsqu'il forme un couple avec eux.

Étain.
Antimoine.
Acier.
Zinc.
Platine.
Fer.
Argent.
Or.
Plomb.
Bismuth.
Cuivre.
Cadmium.
Laiton.
Mercure.

Cet ordre diffère beaucoup de celui des métaux rangés selon leur faculté conductrice pour la chaleur. Y aurait-il donc une distinction essentielle entre les conductibilités pour la chaleur déjà formée, et pour la chaleur qui ne s'engendre que par la résistance des conducteurs au passage du courant? — Cet ordre ne s'accorde pas davantage avec les résultats obtenus par M. Pouillet dans ses recherches récentes sur la conductibilité des métaux pour l'électricité. Cela indiquerait peut-être que la conductibilité des mêmes corps qui varie du cas de la chaleur à celui de l'électricité, varie aussi lorsque les influences de ces deux agents sont réunies. Au reste, la série qui précède n'est probablement pas rigoureuse, et il serait hasardé d'en conclure des conséquences trop précises.

L'inspection du tableau des expériences donne lieu à quelques remarques qui doivent trouver ici leur place.

On voit d'abord que plusieurs couples ont présenté une différence nulle dans leur diathermansie relative à des sens opposés dans la direction d'un même courant. Ce sont :

Antimoine-argent.
Argent-laiton.
Bismuth-cuivre.
Cadmium-platine.
Cadmium-zinc.
Étain-mercure.
Étain-or.
Étain-platine.
Laiton-plomb.
Or-plomb.

Dans ces dix couples figurent des métaux cristallisables et à texture peu homogène, tels que l'antimoine, le bismuth, le zinc, ce qui semblerait prouver qu'on ne doit pas attribuer à cet état moléculaire particulier les différences de conductibilité qu'offrent les corps de nature diverse.

Les quatre-vingt-un autres couples peuvent être subdivisés en trois groupes distincts.

Les uns au nombre de cinquante-cinq, et par conséquent en très-grande majorité, ne présentent que des différences de deux degrés au plus, différences négligeables pour des raisons déjà exposées ; en sorte qu'on peut regarder comme sensiblement égales leurs diathermansies électriques relatives.

Les seconds présentent des variations intermédiaires entre deux et quatre degrés. Ce sont :

Antimoine-fer.
Argent-cuivre.
Argent-fer.
Cadmium-cuivre.
Cadmium-étain.
Cadmium-fer.
Cadmium-laiton.
Cuivre-mercure.
Fer-mercure.
Fer-or.
Fer-plomb.
Fer-zinc.
Platine-zinc.

Ces treize couples, dont le bismuth ne fait pas partie, peuvent être considérés comme formant l'extrême limite de ceux pour lesquels les différences de diathermansie ne dépassent pas de petites valeurs.

Le dernier groupe est formé des couples dont les différences sont, au contraire, supérieures à quatre. Ce sont :

Acier-antimoine.
Acier-laiton.
Acier-zinc.
Antimoine-bismuth.
Antimoine-cuivre.
Antimoine-étain.

Antimoine-laiton.
Argent-bismuth.
Bismuth-cadmium
Bismuth-laiton.
Bismuth-platine.
Bismuth-plomb.
Bismuth-zinc.

Dans chacun de ces treize couples se rencontrent des métaux dont la conductibilité électrique est difficile à déterminer, et qui occupent diverses places dans les tableaux dressés par Davy et par MM. Becquerel, Harris, Christie, Cummingue et Pouillet. J'ai mis tous mes soins à étudier les effets du passage du courant en sens alternativement contraire dans chacun d'eux : les expériences ont été assez souvent répétées pour permettre d'accepter ces résultats comme vrais. Il est remarquable que tous ces couples soient formés de métaux cassants, tels que l'antimoine, le bismuth et le zinc, réunis entre eux, ou accolés à des métaux ductiles, tels que l'argent, le cuivre, l'étain, le platine, etc. L'acier s'est toujours comporté comme un métal capricieusement conducteur, et se rapprochant à cet égard des métaux cristallisables.

Pour étudier la diathermansie électrique des couples dont le mercure est un des constituants, je supprimai l'un des deux verres intermédiaires, ainsi que la lame-support plongeant dans celui des verres du même côté que celui qui communiquait avec le thermomètre; je rapprochai ce dernier verre de façon qu'il vînt prendre la place de celui qui était enlevé, et je pus ainsi continuer à me servir de la bascule commutatrice. Les cinq verres employés restèrent pleins de mercure, en sorte qu'on peut regarder les résultats obtenus et consignés au tableau aussi bien comme l'expression de la diathermansie relative des deux métaux du couple, que comme les valeurs de diathermansie d'un même conducteur homogène, selon que le courant le traverse dans un sens ou dans l'autre.

D'après cela, on trouve que l'acier, l'argent, le cadmium, l'étain, le mercure, le platine et le plomb, n'opposent pas à la chaleur du courant négatif une résistance sensiblement plus grande que celle qu'ils font subir à la chaleur du courant positif. Au contraire, l'or, le laiton, le bismuth, l'antimoine, et surtout le cuivre, le zinc et le fer, semblent présenter à cet égard des différences légères, sans doute, mais néanmoins appréciables.

J'ai remarqué, comme MM. Becquerel et Peltier, des renversements dans les valeurs des déviations données par un même couple traversé par un même courant. Ces renversements ont été observés dans les quarante-quatre couples qui suivent, lorsqu'un des métaux, ordinairement celui dont la texture était la moins homogène, avait été retourné bout à bout, le sens du courant restant le même après le retournement.

Acier-bismuth.
Acier-cadmium.
Acier-mercure.
Acier-plomb.
Antimoine-cadmium.
Antimoine-laiton.
Antimoine-plomb.
Antimoine-zinc.
Argent-bismuth.
Argent-cadmium.
Argent-fer.
Bismuth-cadmium.
Bismuth-cuivre.
Bismuth-étain.
Bismuth-laiton.
Bismuth-mercure.
Bismuth-or.
Bismuth-platine.
Bismuth-plomb.
Bismuth-zinc.
Cadmium-étain.

Cadmium-fer.
Cadmium-mercure.
Cadmium-or.
Cadmium-plomb.
Cuivre-laiton.
Cuivre-or.
Cuivre-platine.
Cuivre-plomb.
Cuivre-zinc.
Étain-fer.
Étain-laiton.
Étain-platine.
Fer-plomb.
Fer-zinc.
Laiton-plomb.
Laiton-zinc.
Mercure-argent.
Mercure-platine.
Mercure-zinc.
Or-zinc.
Platine-plomb.
Platine-zinc.
Plomb-zinc.

On voit que ces couples sont presque exclusivement formés par l'acier, l'antimoine, le bismuth, le cadmium, le fer, le platine, le plomb et le zinc. En général, ceux dans lesquels l'acier, le plomb et le cadmium jouent un rôle, se distinguent par la difficulté avec laquelle le courant les traverse, et par la lenteur du réchauffement graduel qu'indique l'hélice.

Le renversement que ces couples ont présenté dans leur diathermansie relative est sans doute lié avec un certain état moléculaire, en vertu duquel le sens d'un courant influe sur son facile trajet par le seul fait de l'arrangement particulier qu'il a tout d'abord imprimé aux particules du conducteur. Lorsque le courant cherche à passer en sens inverse, il commence par dépolariser celles-ci, et de là une perte pour sa propre inten-

sité ; puis il leur donne une polarité contraire, ce qui, de nouveau lui offre une libre voie. Il est cependant à observer que ces effets vont en diminuant d'énergie à mesure qu'on les oblige à se répéter, de telle sorte qu'au bout d'un certain nombre de retournements, un métal admet aussi bien par chacun de ses bouts un courant de sens invariable. Ceci n'est peut-être pas sans importance pour la théorie ondulatoire de l'électricité.

Si l'on combine avec ces renversements dans la conductibilité des conducteurs homogènes l'influence des variations de l'intensité de la pile, qui sont inévitables dans une très-nombreuse suite d'expériences, on expliquera facilement les phénomènes de renversement de diathermansie relative des métaux d'un même couple. Le tableau suivant présente l'énumération de ceux que j'ai observés. La colonne *différences* est à deux subdivisions : la première renferme les différences *déduites* des expériences dont les résultats sont transcrits ci-dessous; la seconde présente en regard les différences *vraies*, tirées du grand tableau dont il a été question précédemment.

Numéros d'ordre.	NOMS des couples.		Nombre d'observations doubles.	SOMMES des deviations.		Deviations moyennes.		DIFFÉRENCES	
				E	S	E	S	deduites	vraies.
1	Argent.	Bismuth.	30	3396°	3802°	113°,20	126°,73	−13°,53	+ 8°,50
2	Argent.	Fer.	6	2276	2250	379, 33	375, 00	+ 4, 33	− 2, 12
3	Bismuth.	Cuivre.	21	4044	3226	192, 57	153, 61	+38, 96	0,00
4	Bismuth.	Étain.	18	2727	3088	151, 50	160, 44	− 8, 94	+ 0,06
5	Bismuth.	Laiton.	17	3025	3441	177, 94	202, 41	−24, 47	+ 4, 80
6	Bismuth.	Plomb.	10	1072	1034	107, 20	103, 40	+ 3, 80	− 8, 80
7	Cuivre.	Zinc.	6	1132	1130	188, 66	188, 33	+ 0, 33	− 0, 25
8	Fer.	Or.	7	2474	2523	353, 43	360, 43	− 7, 00	+ 2, 50
9	Fer.	Zinc.	20	4177	4033	208, 85	201, 65	+ 7, 20	− 2, 11
10	Platine.	Zinc.	8	2320	2260	265, 00	257, 50	+ 7, 5	− 3, 45

Ces nombres prouvent, sans contredit, la nécessité de ne prendre comme expression de la vérité dans de pareilles recherches, que la moyenne d'une longue série d'épreuves faites dans des circonstances aussi identiques que possible.

J'ajouterai que je n'ai jamais observé la production de froid dans mes expériences, quoique j'aie, en les variant, fait passer des courants d'intensités très-diverses et dans des sens alternativement ou successivement opposés à travers les divers couples métalliques étudiés, et notamment à travers le couple formé de l'antimoine et du bismuth. Si l'on accorde à l'appareil thermométrique dont j'ai fait usage une sensibilité égale à celle du thermoscope à air, sensibilité qu'il possède bien probablement, on devra conclure que le refroidissement remarqué par M. Peltier, c'est-à-dire l'abaissement de la température au-dessous de celle de l'atmosphère environnante, qui sert de point de départ, est un phénomène de soudure exclusivement.

Les diverses propriétés de diathermansie électrique que les recherches précédentes ont mises en évidence, ne peuvent être attribuées à une influence des soudures, puisque les métaux qui formaient chacun des couples étudiés étaient séparés par deux verres renfermant l'un et l'autre environ trois kilogrammes de mercure pur et à la température ambiante. Ceci est une nouvelle ligne de démarcation entre les résultats que j'ai obtenus et ceux dont la connaissance est due aux travaux de M. Peltier.

Je signalerai, en terminant, l'une des conséquences les plus importantes qui se déduisent de ce qui précède : c'est qu'il faut nécessairement avoir égard à l'ordre dans lequel se succèdent les conducteurs hétérogènes à travers lesquels se propage un flux calorifique ou électrique, et qu'il n'est, pour l'ordinaire, pas indifférent à la mesure des quantités de fluide qui sont admises à traverser, de donner au courant qui passe par un conducteur homogène telle direction plutôt que telle autre. C'est pour n'avoir pas tenu compte de cette circonstance inconnue qu'on trouve dans plusieurs résultats de physiciens distingués des divergences notables, et qui exigent que leurs expériences soient contrôlées par de nouvelles épreuves.

En résumé, on peut déduire des développements que j'ai exposés :

1° Que les couples formés de divers métaux non soudés présentent des différences considérables dans leur diathermansie électrique, suivant le sens des courants qui les traversent. Ces différences sont surtout remarquables dans les couples où il entre un métal à texture cristalline; elles sont nulles, ou à peu près, chez ceux qui ne renferment que des métaux ductiles.

2° Que la faculté de diathermansie électrique n'est pas proportionnelle à la conductibilité pour la chaleur ni à la conductibilité pour l'électricité.

3° Que les mêmes couples présentent des renversements dans leur diathermansie électrique relative, suivant l'intensité du courant qui les traverse, et le retournement des métaux, lorsque le sens du courant et toutes les autres circonstances restent invariables.

4° Que ces renversements s'observent aussi dans un conducteur homogène, peu ou point ductile, et sont peut-être dus à une polarisation des molécules ; ils disparaissent après un certain nombre de retournements du conducteur.

5° Que la production de froid par le passage d'un courant galvanique est probablement un effet des soudures des métaux d'un couple hétérogène.

J'ai dit précédemment qu'on n'a pas d'explication de la production de froid par le passage d'un courant voltaïque. Il sera peut-être intéressant d'ajouter ici celle qu'a récemment proposée M. Léopold Gmelin, dans un travail ayant pour titre : *Versuch einer elektromotorischen Theorie*[1].

Il résulte des recherches de M. Peltier et des miennes, que l'antimoine conduit beaucoup mieux l'électricité positive que la négative, et que l'inverse a lieu pour le bismuth. Si, après

[1] Pogg. Ann. XLIV, 33.

avoir soudé deux barreaux de ces métaux, on met l'antimoine en communication avec le pôle positif, l'électricité arrive facilement jusqu'à la soudure, où le bismuth s'oppose à son passage ultérieur ; tandis qu'au contraire, le bismuth admet facilement l'électricité négative du pôle qui le touche, électricité qui est arrêtée par l'antimoine : « Ainsi, dit l'auteur, les deux électricités se rencontrent à la soudure, et, par leur combinaison, y produisent un échauffement. » Si, réciproquement, on lie le bismuth avec le pôle positif et l'antimoine avec le négatif, les deux électricités étant arrêtées dès leur entrée, il y a rupture d'équilibre électrique à la soudure ; l'électricité négative se propage à travers le bismuth jusqu'au pôle positif, l'électricité positive se rend par l'antimoine au pôle négatif, et, tandis que la température s'élève aux pôles, elle s'abaisse à la soudure, qui livre l'électricité nécessaire à la production de chaleur.

Cette explication est d'accord avec la remarque que l'état de soudure est une condition nécessaire pour opérer le refroidissement ; mais elle ne semble pas pouvoir être admise avant qu'on ait prouvé que l'éloignement du fluide électrique d'une section donnée dans un corps y détermine une diminution de température. Il est à souhaiter que l'expérience prononce sur ce fait encore hypothétique, admis comme base par M. Gmelin.

LÉGENDE DE LA FIGURE.

T. Thermomètre métallique de Bréguet.
H. Hélice.
P. Potence de cuivre pur, terminée en *g* à l'extérieur.
G. Cadran divisé en 360°.
F. Capsule de cuivre pur. Elle communique métalliquement avec une tige de même métal, qui fait saillie en *a*.
L. Lanières de cuivre, dont la partie plongeant dans les deux verres *V* pleins de mercure est amalgamée.
S. Supports pour les barreaux du couple, figurés en place et à part.
C et *C'*. Fils de cuivre, servant de commutateurs, figurés en place et à part.
P. Pile à la Wollaston, à un seul couple.
Z. Zinc de la pile.
V'. Verres pleins de mercure.
B. Barreaux du couple.

DE L'ORIGINE DU POUVOIR DE LA PILE VOLTAÏQUE, SEIZIÈME SÉRIE DES RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR L'ÉLECTRICITÉ, par M. FARADAY[1].

Quelle est la source du pouvoir de la pile? Cette question est maintenant de la plus haute importance pour la théorie et pour les progrès futurs de la science. Les opinions reçues à cet égard sont très-diverses ; mais il y en a deux qui sont prédominantes, dont l'une attribue la source de ce pouvoir au contact et l'autre à l'action chimique. La question qui a pour objet l'étude du mérite comparatif de ces deux théories, touche aux premiers principes de l'action électrique ; car ces opinions sont tellement opposées, que ceux qui adoptent l'une ou l'autre sont par là même forcés de différer en tout point, quant à la nature probable et intime de l'agent, ou de la force de laquelle dépendent tous les phénomènes de la pile voltaïque.

La théorie du contact est la théorie de Volta, le célèbre inventeur de la pile elle-même. Elle a été soutenue jusqu'à ce jour par un grand nombre de physiciens, parmi lesquels on peut compter, de nos jours, Pfaff, Marianini, Fechner, Zamboni,

[1] M. Faraday publie depuis 1832 une série de recherches sur l'électricité, dont nous avons fait connaître la plus grande partie dans la *Bibliothèque Universelle*. Nous publions aujourd'hui la traduction de la première partie de la seizième série des recherches du savant anglais ; nous en publierons la seconde partie dans notre prochain numéro. La résolution que nous avons prise de consacrer à l'électricité une portion distincte et complète de notre journal nous permettra dorénavant de donner textuellement, comme nous le faisons aujourd'hui, et non pas seulement par extrait, les travaux les plus importants des savants étrangers. Nous reviendrons même plus tard sur quelques-uns des travaux antérieurs de M. Faraday, qui ne nous paraissent point avoir eu hors de l'Angleterre, la publicité qu'ils méritent. (R.)

Matteucci, Karsten, Bouchardat et même Davy, savants tous placés dans les régions supérieures de la science. — La théorie de l'action chimique fut pour la première fois mise en avant par Fabroni, puis par Wollaston et Parrot; plus tard, elle a été plus ou moins développée par Œrsted, Becquerel, De la Rive, Ritchie, Pouillet, Schœnbein et beaucoup d'autres savants, parmi lesquels on doit citer surtout Becquerel qui, depuis le commencement, a donné d'importantes preuves expérimentales du développement de l'électricité par l'action chimique, et De la Rive qui doit être distingué de tous à cause de la clarté, de la constance de ses vues, et de son zèle infatigable depuis 1827 jusqu'à présent, pour ajouter toujours de nouveaux faits et de nouveaux arguments.

En examinant cette question d'après les résultats de l'action électro-chimique définie, je me suis vu forcé de me ranger du côté de ceux qui croient que l'origine du pouvoir de la pile ne provient que de l'action chimique, et je hasardai une note à ce sujet, en avril 1834, qui a attiré l'attention spéciale de Marianini. Le mérite connu de ce physicien, les observations de Fechner, et la réflexion que la théorie du contact règne encore dans la plus grande partie de l'Italie et de l'Allemagne, m'ont conduit à examiner de nouveau la question avec tout le soin possible. Je souhaitai non-seulement d'échapper à l'erreur, mais j'étais très-désireux de me convaincre de la réalité de la théorie du contact; car il était évident que si la force électro-motrice de contact existait, ce devait être un pouvoir différent de tout autre pouvoir de la nature, soit quant aux phénomènes qu'il peut produire, soit aussi quant aux questions plus élevées qui touchent à la nature des forces définies.

J'ose espérer que les résultats et les arguments que j'ai rassemblés dans ce but seront de quelque utilité pour la science. Les détails seront peut-être fatigants, mais ils ne sont que la conséquence naturelle du sujet. La théorie du contact a longtemps prévalu dans l'esprit des savants; elle est soutenue par

des autorités de très-grand poids, et durant bien des années elle a régné sans partage dans quelques parties de l'Europe. Si elle est erronée, on ne peut la déraciner que par un grand nombre d'exemples tirés de l'expérience, et de nature à forcer la conviction : un fait m'a paru clair en ceci, c'est que les travaux de De la Rive n'ont pas encore convaincu les partisans du contact. Voilà pourquoi j'ai cru de quelque utilité d'ajouter mon témoignage à celui de ce physicien et de quelques autres, d'entrer dans des détails et de multiplier les faits, même beaucoup au delà de ce qui est ordinairement nécessaire pour établir et répandre une nouvelle vérité dans la science. En travaillant ainsi, je pourrai parfois étendre, et j'espère, toujours renforcer ce que d'autres, et surtout De la Rive, ont déjà fait.

La question sera plus nette et plus claire, si nous établissons d'abord les idées diverses que l'on s'est faites relativement au contact. La théorie de Volta dit, que le simple contact de deux corps conducteurs développe de l'électricité au point de contact, sans qu'il se fasse aucun changement dans la nature des corps eux-mêmes, et que, quoique l'eau et les liquides aqueux aient cette propriété, cependant le degré auquel ils la possèdent ne mérite pas d'être pris en considération, comparativement à ce qu'il est pour les métaux. Les vues actuelles des physiciens partisans du contact, en Italie et en Allemagne, sont, je crois, généralement les mêmes, sauf que quelquefois l'on attribue plus d'importance au contact des conducteurs imparfaits avec les métaux. Ainsi Zamboni, en 1837, regarde, comme la source d'électricité la plus puissante, le contact métallique, mais non pas celui des métaux avec les liquides ; Karsten, au contraire, tout en tenant à la théorie du contact, rapporte la force électro-motrice au contact des liquides avec les conducteurs solides. Marianini adopte la même idée quant au principe du contact, avec cette addition, que le contact effectif n'est pas nécessaire pour produire la force excitante, mais que deux conducteurs voisins et dissemblables peuvent

prendre l'état l'un de l'autre, lorsqu'ils sont séparés par des intervalles d'air sensibles de $\frac{1}{10000}$ de ligne ou plus.

De la Rive, au contraire, soutient la théorie de l'action chimique pure et simple, et n'admet pas, je crois, de courant dans la pile voltaïque, qui ne soit lié à l'action chimique ou n'en soit dépendant. — Becquerel, quoiqu'il s'exprime avec une grande prudence à cet égard, paraît admettre la possibilité que des affinités chimiques produisent des courants électriques, lors même qu'elles ne sont pas assez puissantes pour vaincre la force de cohésion, et déterminer des combinaisons. — Schœnbein établit qu'un courant peut être produit par une tendance à l'action chimique, c'est-à-dire que les substances qui ont une tendance à s'unir chimiquement peuvent produire un courant, quoique cette tendance ne soit pas suivie de la combinaison effective des substances. Dans ces cas, la force primitive devient la même que le contact de Volta, en tant que les matières agissantes ne sont pas altérées lorsqu'elles produisent le courant. — L'opinion de Davy était, que le contact de Volta excitait le courant ou en était la cause, mais que les changements chimiques le maintenaient. — Pour moi, je suis à présent de la même opinion que De la Rive, et je ne crois pas, que dans la pile voltaïque, le simple contact contribue en rien à exciter le courant, sinon qu'il le rend possible, et qu'il permet à l'action chimique de le manifester.

Ainsi, les idées qu'on se forme sur le contact sont diverses, et l'on peut dire qu'elles passent graduellement des unes aux autres, même jusqu'à admettre implicitement l'action chimique ; mais les deux opinions extrêmes me paraissent inconciliables en principe, sous quelque forme que ce soit. Elles peuvent être exprimées comme suit : La théorie du contact suppose, que si deux corps différents, conducteurs de l'électricité, sont en contact, il existe au point de contact une force par laquelle l'un des corps donne à l'autre une partie de son électricité naturelle, et que ce dernier la prend en addition à celle qu'il pos-

sède naturellement; que, quoique les points qui se touchent aient ainsi donné et pris respectivement de l'électricité, ils ne peuvent pas retenir la charge que leur contact a déterminée, mais qu'ils se déchargent de leur électricité sur les masses qui se trouvent derrière eux; que la force qui, au point de contact, oblige les molécules à prendre ce nouvel état, ne peut pas les rendre capables de le conserver; que tout cela, enfin, se passe sans aucune altération permanente des parties qui sont en contact, et n'a aucun rapport avec leurs forces chimiques. La théorie chimique admet qu'au point d'action, les molécules qui sont en contact agissent chimiquement l'une sur l'autre, et sont capables, dans ces circonstances, de donner à une quantité plus ou moins grande de la force agissante une forme dynamique, qu'alors l'intensité de la force du courant qui en résulte est exactement un équivalent de la force chimique originale employée, et que dans aucun cas, lorsqu'il s'agit de la pile voltaïque, on ne peut produire de courant électrique sans l'intervention active et sans la consommation d'une quantité égale de force chimique, force qui détermine en même temps un certain changement chimique.

Le Mémoire de Marianini excita en moi un vif désir d'examiner de nouveau ce sujet; mais la route que j'ai suivie dans cet examen n'avait pas autant pour but de répondre à certaines objections particulières, que de trouver, relativement aux points controversés ou admis, des preuves qui pussent pleinement satisfaire mon esprit, également disposé à embrasser l'une ou l'autre théorie.

Le présent Mémoire n'est donc pas un Mémoire de controverse, mais il renferme de nouveaux faits et de nouvelles preuves de la vérité des idées de De la Rive. Les faits que Marianini met en avant sont d'un très-grand intérêt, et toutes ses objections devront un jour être soulevées, lorsqu'on aura obtenu des résultats numériques pour exprimer l'intensité et la quantité de la force; mais elles peuvent toutes être discutées, et, selon moi,

elles ne dépendent que de variations de quantité qui ne se rattachent pas rigoureusement à la question générale. Ainsi, lorsque ce physicien cite les résultats numériques qu'il a obtenus en considérant le cas de deux métaux en communication dans leurs extrémités opposées avec des liquides qui tendent à déterminer des courants contraires, la différence qu'il observe ne me paraît pas devoir être attribuée à l'effet du contact métallique, car j'ai observé moi-même des différences tout aussi grandes, et même plus grandes, dans des cas où ce contact ne paraît jouer aucun rôle......... [1].

Quant à la partie de son Mémoire relative à l'action des solutions sulfurées, j'espère qu'il me sera permis d'y répondre en renvoyant aux recherches que j'ai faites depuis lors. Je ne trouve pas, comme le physicien italien, que le fer mis avec l'or ou le platine dans une solution de sulfure de potassium soit positif à l'égard de ces métaux, mais au contraire, je l'ai trouvé fortement négatif, et j'en donne la raison plus loin. Quant à la discussion sur la cause de l'étincelle qui a lieu avant le contact, Marianini l'admet, mais je l'admets aussi; seulement, le Mémoire de Jacobi m'a convaincu que j'étais dans l'erreur, quand je regardais ce fait comme une preuve de l'existence d'un état de tension dans les métaux avant le contact. Je n'ai donc, à cet égard, qu'à retirer mes propres observations.

Laissant maintenant les objections de détail et la discussion des cas, faibles quant à leur puissance, et douteux quant à leur nature, j'arrive à la question générale; j'ai été en effet, dès que j'ai abordé ce sujet, sous l'impression que nous n'avons pas tant à rendre compte des influences légères ou des phénomènes faibles, mais bien de ceux qui indiquent une force très-puissante, et qui demandent que la cause qu'on leur assigne soit en rapport soit d'intensité, soit de quantité, avec les effets qu'elle

[1] Nous omettons ici une ou deux phrases du mémoire de M. Faraday, qui ont pour objet de répondre à quelques objections faites par M. Marianini contre la théorie chimique; l'auteur revient plus tard sur le même sujet. (R.)

produit. Les recherches suivantes ont toutes été faites sur des courants au moyen d'un galvanomètre. Ce mode d'observation m'a paru être le meilleur pour l'examen de l'électricité de la pile voltaïque. L'électromètre est certainement un instrument très-important, mais les physiciens qui l'emploient ne sont pas d'accord quant à la certitude et à la délicatesse des résultats qu'il présente. Et même, si l'on admet comme exactes le petit nombre d'indications qui ont été données jusqu'ici par l'électromètre, elles sont beaucoup trop générales pour décider la question du contact ou de l'action chimique en ce qui concerne la force excitante de la batterie voltaïque. Pour employer cet instrument avec sûreté, et donner quelque force aux arguments qu'il fournit en faveur de l'une ou l'autre des théories, il serait nécessaire de construire une table des contacts des différents métaux et liquides employés dans la construction de la pile, en les prenant couples par couples, et d'indiquer dans cette table, pour chaque couple, dans quel sens et avec quelle énergie la force de contact agit. Les partisans de la théorie du contact admettent, que, quoique les métaux développent de fortes actions électro-motrices à leur point de contact, cependant ces forces se balancent dans un circuit tout métallique, de telle manière, qu'il n'y a jamais aucun courant produit, quel que soit l'arrangement des métaux les uns à l'égard des autres[1].

D'un autre côté, on admet que les conducteurs liquides, ainsi que les corps qui renferment de l'eau, en un mot, ceux que j'ai nommés *électrolytes*[2], ou n'excitent pas de force électro-motrice dans leur contact avec les métaux, ou, s'ils en excitent, présentent cette très-grande différence, que les forces ne sont pas soumises dans un circuit complet à la même loi de com-

[1] M. Faraday explique ici, par des exemples que nous omettons, en quoi consiste cet équilibre qui est admis par les partisans de la théorie du contact, et montre qu'il ne repose que sur une hypothèse.

[2] L'auteur entend par ce mot les conducteurs susceptibles d'être décomposés par l'action du courant électrique. (R.)



pensation et de neutralisation qui a lieu lorsque le circuit est tout métallique. Mais c'est aussi une pure supposition, car elle n'est fondée sur aucune observation directe, mais seulement sur la théorie même qu'elle est elle-même destinée à soutenir.

Conduit par cette opinion, et animé du désir de déterminer ce qui, dans un circuit complet, d'une part provient du contact, et de l'autre de l'action chimique, je cherchai dans la classe des conducteurs liquides quelques corps qui fussent sans action chimique sur les métaux des couples, afin d'exclure cette source de courant électrique, et qui cependant fussent assez bons conducteurs de l'électricité pour manifester les courants qui seraient dus au contact de ces métaux soit entre eux, soit avec le liquide. Pensant que tout électrolyte qui conduirait le courant thermo-électrique d'une seule paire de bismuth et d'antimoine serait propre à remplir le but proposé, j'en cherchai, et je fus assez heureux pour en trouver bientôt.

§ 1. *Electrolytes etc..... employés comme conducteurs de courants faibles et thermo-électriques.*

Sulfure de potassium. Cette substance et sa dissolution ont été préparées de la manière suivante. On a mélangé des poids égaux de potasse caustique et de soufre, puis chauffé graduellement dans un ballon florentin, jusqu'à ce que le tout fût en fusion et combiné, et que l'excès de soufre commençât à se sublimer. On a fait alors refroidir et dissoudre dans l'eau le composé, de manière à former une solution concentrée, qui, par le repos, est devenue parfaitement claire.

Une portion de cette solution a été mise dans un circuit consistant en une paire de plaques de bismuth et d'antimoine, et muni d'un galvanomètre ; la communication avec l'électrolyte a été opérée au moyen de deux lames de platine, chacune d'environ deux pouces de long et demi-pouce de large ; ces deux

lames étaient plongées presque en entier, et elles se trouvaient à la distance d'un quart de pouce environ. Lorsque le circuit était fermé, et tout à la même température, il n'y avait point de courant ; mais aussitôt que le point de jonction de l'antimoine et du bismuth était ou chauffé ou refroidi, le courant thermo-électrique correspondant était produit, le galvanomètre indiquait une déviation permanente, s'élevant quelquefois jusqu'à 80°. Même la petite différence de température causée en touchant du doigt l'élément de Seebeck, produisait un courant très-sensible au travers de l'électrolyte. Si au lieu de la combinaison bismuth-antimoine on emploie de simples fils de *cuivre et de platine*, ou de *fer et de platine*, l'application de la lampe à alcool à la jonction de ces métaux, produit un courant thermo-électrique qui fait aussitôt le tour du circuit.

Ainsi cet électrolyte remplit parfaitement, quant au pouvoir conducteur, les conditions désirées plus haut. Il est si bon sous ce rapport, que j'ai réussi à faire circuler le courant thermo-électrique d'un seul élément de Seebeck au travers de cinq parties successives de ce liquide, placées à la suite les unes des autres, et unies par des lames de platine.

Acide nitreux. Cet acide jaune anhydre, retiré de la distillation du nitrate de plomb sec, placé dans un tube de verre, et mis dans le circuit du couple bismuth et antimoine, ne donnait aucune indication du passage du courant, quoique les électrodes plongés fussent des fils d'environ quatre pouces de longueur, passablement épais, et que leur distance ne fût que d'un quart de pouce.

Une partie de cet acide fut mélangée avec un volume d'eau pure égal au sien ; l'action qui en fut la suite causa un abaissement de température, le dégagement d'un peu de gaz nitreux, la formation d'un peu d'acide nitrique, et l'on obtint un liquide d'une couleur vert foncé. Ce liquide devint alors un si bon conducteur de l'électricité, que le courant le plus faible put le traverser. Celui que produit le couple de Seebeck est sensible

lors même que les fils de platine qui le transmettent dans l'acide ne plongent que de $\frac{1}{8}$ de pouce. Quand les électrodes plongent de deux pouces dans le liquide, la conductibilité est si complète, que l'on n'observe presque pas de différence au galvanomètre, que les fils de platine se touchent ou qu'ils soient à un quart de pouce de distance l'un de l'autre dans le liquide[1].

Acide nitrique. On a fait bouillir une certaine quantité de cet acide, afin de chasser tout l'acide nitreux qu'il pourrait contenir, puis on l'a refroidi. Quand on l'a mis dans le circuit au moyen de lames de platine, on a trouvé qu'il conduit si mal le courant, que l'effet d'un couple de bismuth et d'antimoine, même lorsque la température était très-grande, est à peine perceptible au galvanomètre.

En se servant d'un acide jaune pâle, mais d'ailleurs pur, on a trouvé qu'il possédait un pouvoir conducteur plutôt supérieur à celui du précédent. L'acide nitrique rouge conduit très-bien le courant thermo-électrique. En ajoutant à l'acide nitrique incolore un peu d'acide nitreux vert, le mélange acquiert un pouvoir conducteur remarquable. De là, il est évident que l'acide nitrique n'est pas bon conducteur lorsqu'il est pur, mais que la présence de l'acide nitreux qui s'y trouve (conjointement probablement avec l'eau) lui donne cette propriété qu'il possède à un si haut degré parmi les électrolytes. Un acide nitrique rouge fort et un acide faible vert (formé d'un volume d'acide nitrique fort et de deux volumes d'eau qui avait verdi par l'action de l'électrode négatif en platine d'une pile voltaïque) furent reconnus être tous les deux de si bons conducteurs, que le courant thermo-électrique put en traverser cinq parties séparées, réunies à la suite les unes des autres par des lames de platine, et cela avec si peu de perte, que l'on peut

[1] De la Rive avait déjà remarqué en 1828 la facilité avec laquelle le courant électrique passe du platine dans l'acide nitreux. (Ann. de Ch. et de Phys., t. 27, p. 278.)

croire que vingt alternatives semblables n'auraient pas arrêté ce faible courant.

Acide sulfurique. Cet acide concentré, mis entre des électrodes de platine, conduit sensiblement le courant du couple bismuth-antimoine, mais d'une manière faible. Un mélange de deux volumes d'acide avec un volume d'eau conduit mieux, mais moins bien que les deux premiers électrolytes. Un mélange d'un volume d'acide sulfurique et de deux volumes de solution saturée de sulfate de cuivre conduit très-bien ce courant.

Potasse. Une solution concentrée de potasse caustique, mise entre deux lames de platine, conduit le courant, mais très-faiblement.

Je décrirai ici, en même temps, quelques autres résultats relatifs au pouvoir conducteur des corps dont on aura besoin plus tard dans ces recherches. La galène, le bi-sulfure de fer, les pyrites arsénicales, le sulfure double de cuivre et de fer, le sulfure de cuivre naturel, les sulfures de bismuth, de fer et de cuivre, des globules d'oxide de fer brûlé, l'oxide des battitures, conduisent tous très-bien le courant. Le peroxide de manganèse et le peroxide de plomb, ne le conduisent que très-médiocrement.

Les corps suivants, assez analogues pour leur nature et leur composition, ne conduisent pas sensiblement ce faible courant lorsque les surfaces de contact sont petites : ce sont le sulfure d'étain gris artificiel, la blende, le cinabre, l'hématite, le fer de l'île d'Elbe, l'oxide de fer magnétique, l'oxide d'étain natif, le wolfram, le protoxide de cuivre fondu et refroidi, le peroxide de mercure.

Quelques-unes des substances dont je me suis servi précédemment sont très-remarquables quant à leur pouvoir conducteur : telles sont la solution de sulfure de potassium et l'acide nitreux. Les peroxides de manganèse et de plomb sont encore

plus remarquables comme conducteurs, parce que les protoxides de ces métaux ne conduisent ni le faible courant thermo-électrique, ni le courant plus puissant provenant d'une pile voltaïque. Cette circonstance me donna un vif désir de vérifier cette particularité avec le peroxide de plomb. J'en préparai donc avec de l'oxide rouge et de l'acide nitrique, puis je lavai l'oxide brun à plusieurs reprises avec de l'eau distillée, jusqu'à ce que les plus légères traces d'acide nitrique et de nitrate de plomb eussent été enlevées; après cela, je le fis sécher parfaitement. Si l'on prend maintenant un peu de cet oxide en poudre, et par conséquent dans un état où il y a un contact très-imparfait, même entre ses propres particules, et si on le comprime entre deux lames de platine, puis qu'on le mette dans le circuit thermo-électrique, le courant passe facilement.

§ II. *Circuits conducteurs inactifs renfermant un liquide ou un électrolyte.*

De la Rive a déjà signalé le cas du circuit formé de la potasse, du fer et du platine, pour montrer que là où il n'y a pas d'action chimique, il n'y a pas de courant. Mon but est d'augmenter le nombre de ces cas, d'employer d'autres liquides que la potasse, et en particulier ceux qui ont un bon pouvoir conducteur pour de faibles courants; enfin d'employer de fortes et de faibles solutions, d'accumuler ainsi les exemples par lesquels la grande question peut être finalement résolue.

Je me suis servi d'abord du sulfure de potassium comme électrolyte, bon conducteur mais chimiquement inactif, formant un circuit avec le fer et le platine. La dissolution concentrée de sulfure de potassium est placée dans deux verres où plongent deux lames de platine qui communiquent avec les extrémités du galvanomètre. Une lame de platine et une lame de fer communiquent entre elles par des fils respectivement de pla-

tine et de fer, formant un arc voltaïque, dont l'un des métaux plonge dans l'un des deux verres, et l'autre dans le second verre.

Lorsque ce circuit est établi, il ne circule aucun courant au travers, et l'aiguille du galvanomètre reste à 0°; et pourtant un faible courant peut être transmis à travers ce circuit, car la chaleur appliquée à l'un quelconque des points de contact du fer et du platine, détermine un courant thermo-électrique, qui fait dévier l'aiguille d'une manière permanente de 30° ou 40°, ou même de 50°.

Mais pour obtenir cet état normal, il est nécessaire d'employer quelques précautions. D'abord, si le circuit est fermé partout, sauf au point d'immersion des plaques de fer et de platine dans le liquide, alors dès qu'on plongé ces lames, un courant passe au travers de la solution : il part du platine (qui dans ce cas est positif) pour aller au fer ; cela continue durant cinq ou dix minutes environ, et durant plusieurs heures, si le fer a été mal décapé. Ce courant est dû à une action de la solution sulfurée sur *l'oxide de fer,* et non à une action sur le fer métallique ; dès que l'oxide est enlevé, cette cause d'erreur peut être regardée comme épuisée. Je citerai plus loin des preuves expérimentales à l'appui de cette explication.

Une autre précaution est relative à l'effet de quelque mouvement accidentel des plaques dans la solution. Si l'on plonge dans le sulfure de potassium des lames de platine, et si l'on ferme le circuit, qui renferme le galvanomètre, l'arrangement, s'il est parfait, ne donnera aucun courant; mais si l'une des plaques est exposée à l'air durant quelques secondes, puis replacée, elle sera négative relativement à l'autre, et produira un courant durant quelques instants. Si les deux lames sont de fer et de platine, ou de toute autre substance non attaquée par le sulfure, le même effet sera produit. Dans ces cas, le courant est dû au changement opéré par l'air sur la couche mince de la solution sulfurée adhérente à la plaque enlevée ; mais une cause

encore beaucoup plus légère que celle-ci produira un courant; car, si l'on enlève une des plaques de platine, si on la lave bien, qu'on la sèche et la chauffe même, dès qu'on la remet dans le circuit, elle manifeste presque toujours une action négative durant une seconde ou deux.

Ces causes de perturbation ou d'autres paraissent être les plus grandes à cause de l'excellent pouvoir conducteur de la solution employée; mais elles n'ont pas lieu si l'on a soin d'éviter tout dérangement des plaques ou de la solution, et alors, comme on l'a déjà dit, le tout acquiert un état normal et parfaitement inactif.

Voilà donc une combinaison dans laquelle le contact du platine et du fer peut librement produire tout l'effet dont il est capable; et pourtant quel en est le résultat? Absolument nul. Cette absence d'effet ne vient pas de ce que l'électrolyte est trop mauvais conducteur pour laisser passer un courant, car un courant beaucoup plus faible que celui qui devrait avoir lieu passe librement, et l'électrolyte employé est très-supérieur, en conductibilité, à ceux que l'on emploie d'ordinaire dans les piles ou circuits voltaïques, dans lesquels le courant est encore supposé dépendre du contact. La conclusion toute simple et naturelle à laquelle cette expérience conduit, est, selon mon opinion, que le contact du fer et du platine ne développe absolument aucune force électro-motrice.

Si, d'après la belle découverte de Seebeck, une différence de température est déterminée au point de contact, alors naît, pour le contact, le pouvoir de déterminer un courant. Nous sommes alors à même de comparer le pouvoir attribué au simple contact, avec celui d'un contact à chaud, et l'on trouve que le dernier est infiniment plus fort que le premier, puisque le premier est nul.

Je crois aussi qu'on peut faire une comparaison vraie, philosophique et rigoureuse entre l'effet présumé du simple contact et celui de l'action chimique. Si au lieu de mettre en con-

tact les extrémités des fils de fer et de platine qui sont liés respectivement avec les plaques de fer et de cuivre, on place entre ces extrémités un morceau de papier mouillé d'acide sulfurique, ou une solution de sel, ou bien, si l'on y applique la langue ou le doigt mouillé, il se forme un courant beaucoup plus fort que ceux des couples thermo-électriques. Ce courant passe du fer dans l'acide, ou dans le liquide quelconque interposé et agissant, et arrive au platine. C'est donc le cas d'un courant produit par l'action chimique, sans aucun contact métallique dans le circuit auquel on puisse attribuer l'effet produit ; c'est même un cas dans lequel le contact métallique est changé en action chimique avec ce résultat remarquable, que là où le contact est tout à fait inactif, l'action chimique, au contraire, produit un courant énergique.

Si nous admettons, pour un moment, que les expériences qui précèdent prouvent que le contact du platine et du fer ne développe pas de force électro-motrice, il s'ensuit aussi que le contact du platine ou du fer, avec tout autre métal, n'en développe pas non plus ; car, si un autre métal, tel que le zinc, est interposé entre le fer et le platine, aucun effet n'est produit, et pourtant l'application d'une faible chaleur au point de contact des métaux hétérogènes montre, par le courant qui en résulte, que le circuit, une fois fermé, conduit toute espèce de courant. Maintenant, comme les partisans du contact n'admettent pas que les contacts du zinc avec le fer et avec le platine soient de force électro-motrice égale, nous devrions donc avoir une action résultante égale aux différences de ces deux forces, qui produirait un certain courant. Mais aucun courant n'est produit, et j'en conclus, d'après ce que nous venons d'admettre, que les contacts de *fer-zinc* et de *platine-zinc* ne créent aucune force électro-motrice.

L'or, l'argent, le potassium et le cuivre ont été successivement placés entre le fer et le platine, et de même aucun effet n'a eu lieu. Sans aucun doute, tout autre métal donnerait le

même résultat, même en suivant le rapport admis entre les métaux par les partisans de la théorie du contact. On arrive aussi au même résultat négatif avec d'autres substances, telles, par exemple, que celles qui ont déjà été mentionnées comme conduisant bien le courant thermo-électrique ; ce qui prouve, je pense, que le contact de l'une de ces dernières avec le fer ou le platine est tout à fait incapable de produire une force électro-motrice.

La seule réponse, à ce qu'il me semble, que la théorie du contact puisse opposer aux faits précédents, c'est de dire que la solution de sulfure de potassium agit comme le ferait un métal, et qu'ainsi les effets de tous les contacts dans le circuit sont exactement balancés. Nous reviendrons plus tard sur ce point.

L'expérience a été répétée ensuite en remplaçant la lame de fer par une lame de *nickel*, tout d'ailleurs restant de même. On trouva encore que le circuit conduit très-bien un courant électrique faible, mais est tout à fait inactif comme circuit voltaïque, lorsque tout est à la même température, et que l'on prend les précautions convenables. L'introduction de divers métaux entre le nickel et le platine fut tout aussi inactive qu'elle l'avait été entre le fer et le platine ; mais en faisant intervenir l'action chimique, on obtint un effet aussi frappant que dans le premier cas. Tous ces résultats furent, de fait, semblables à ceux qu'on avait obtenus auparavant ; et si le raisonnement adopté plus haut est juste, il s'ensuit que le contact du platine et du nickel entr'eux, ou avec l'un quelconque des différents métaux ou conducteurs solides introduits entr'eux, n'est accompagné d'aucune force électro-motrice.

On a comparé de la même manière plusieurs autres paires de métaux, dont les plaques étaient mises en communication, d'une part, par la solution de sulfure de potassium, de l'autre, par leur contact mutuel. Tels sont les couples suivants : fer et or, fer et palladium, nickel et or, nickel et palladium, platine et or, platine et palladium. Dans tous ces cas, les résultats ont été les mêmes que ceux qu'avaient déjà présentés les combinaisons de platine et fer.

Il est nécessaire de prendre les précautions convenables pour que ces combinaisons soient dans un état irréprochable. Il est souvent arrivé que la première immersion des plaques donnait une déviation ; il est même presque impossible de plonger dans la solution deux plaques du même métal, sans causer ainsi une déviation ; mais celle-ci cesse d'ordinaire très-vite, et le couple peut alors être employé pour les recherches. On observe quelquefois une déviation faible, mais assez permanente ; ainsi, lorsque l'on se servit de platine et palladium, le premier effet cessa et laissa un courant capable de dévier l'aiguille de 3°, dans le sens qui indiquait le platine comme positif relativement au palladium. Cette déviation de 3° est, cependant, presque nulle relativement à celle que produit un simple courant thermo-électrique, car ce dernier produit une déviation de 60° au moins ; de plus, en supposant que ce fût un effet essentiel de l'arrangement, le courant a une direction contraire à celle qu'il devrait avoir dans la théorie du contact. Je suis plutôt enclin à l'attribuer à ce pouvoir que possèdent le platine et quelques autres substances, d'opérer des combinaisons et des décompositions sans entrer eux-mêmes en combinaison ; j'ai même trouvé, que lorsqu'une plaque de platine est restée durant quelques heures dans une forte solution de sulfure de potassium, il se dépose dessus une petite quantité de soufre. Quelle que soit la cause de ce faible courant, son effet est trop peu de chose pour servir en aucune manière à soutenir la théorie du contact, tandis que d'un autre côté il donne des indications très-favorables à la théorie chimique.

La solution de sulfure de potassium fut placée dans un vase bas, pour des expériences destinées à éprouver d'autres corps que des métaux ; la plaque de platine fut courbée de manière que l'extrémité plongée arrivât au fond du vase. On plaça aussi dans la solution un morceau de toile qu'on avait enroulé autour de la plaque de platine, puis on mit sur cette toile, le minéral ou l'autre substance dont on voulait faire un couple avec le

platine; le liquide était à une hauteur telle, qu'une partie seulement de la substance y plongeait, et que le reste était propre et sec : c'est sur cette portion que reposait le fil de platine qui complétait le circuit.

On a éprouvé de cette manière successivement la galène, les pyrites de cuivre jaune, celles de fer, et des globules d'oxide de fer brûlé (la solution de sulfure de potassium étant l'électrolyte employé dans le circuit), et l'on a obtenu les mêmes résultats qu'avec les métaux.

On a encore successivement formé des couples en se servant toujours du sulfure de potassium, comme liquide, avec le sulfure de plomb, ou le sulfure de bismuth d'une part, et l'or, le palladium, le fer, le nickel et le bismuth d'autre part. Le résultat a été constamment le même; là où il ne se passait aucune action chimique, il n'y avait aucun courant.

Au lieu d'une solution concentrée de sulfure de potassium, on employa ensuite une solution étendue, formée d'un volume de la première et de dix volumes d'eau. On disposa, comme auparavant, des lames de platine et de fer dans ce liquide; le fer fut d'abord négatif, mais au bout de dix minutes il devint neutre, et l'aiguille revint à 0°; alors un faible courant chimique, excité au point de contact des deux métaux, passa aisément, et même un courant thermo-électrique fut sensible à l'aiguille. Ainsi, qu'elle soit forte ou faible, une solution de cet électrolyte présente le même phénomène. En étendant la dissolution encore davantage, on peut l'amener au point auquel le fer, après le premier moment, devient faiblement positif d'une manière permanente; mais en prolongeant l'expérience, on trouva que dans tous ces cas il se forme, çà et là sur le fer, du sulfure noir. Le fer oxidé est négatif, relativement au platine, dans cette solution très-faible, qui, par l'action chimique directe qu'elle exerce, peut rendre le fer métallique positif.

Dans toutes les expériences précédentes, le liquide employé était une dissolution de sulfure de potassium; j'en ai ensuite employé une autre de nature très-différente, *l'acide nitreux vert*, que nous avons déjà démontré être un excellent conducteur de l'électricité. Les métaux étaient des fils de fer et de platine. Le premier effet qu'on obtint fut la production d'un courant, dans lequel le fer fut positif dans l'acide, relativement au platine; mais cet effet cessa très-promptement, et l'aiguille du galvanomètre revint à 0°. Dans cet état, cependant, le circuit ne pouvait en aucune manière être comparé avec celui que l'on obtient avec le sulfure de potassium, car, quoiqu'il pût jusqu'à un certain point conduire le courant thermo-électrique du couple antimoine et bismuth, cependant il conduisait moins bien que l'arrangement précédent ou qu'un circuit formé d'acide nitreux entre deux lames de platine. Ce retard remarquable est d'accord avec la démonstration qu'a donnée Schœnbein, de cet état particulier que prend le fer dans de pareilles circonstances. Mais quoiqu'on ne puisse pas admettre que le fer en contact avec l'acide soit dans un état particulier, il est pourtant évident qu'un circuit formé de platine, fer, fer polarisé et acide nitreux, ne donne pas de courant, quoiqu'il ait un pouvoir conducteur suffisant pour transmettre un courant thermo-électrique.

Mais, si le contact du platine et du fer a une force électromotrice, pourquoi ne produit-il pas de courant? L'application de la chaleur ou d'une faible action chimique au point de contact produit un courant, et même dans le dernier cas un courant très-fort. Or, si quelqu'un des contacts qui ont lieu dans le circuit peut produire un courant, pourquoi ne se montre-t-il pas par quelque effet correspondant? La seule réponse à donner est, que le fer polarisé a les mêmes propriétés électro-motrices que le platine, ou bien que l'acide nitreux rentre dans la même loi que les métaux, et qu'ainsi la somme des effets de tous les contacts dans le circuit est nulle, ou bien que les forces sont

en équilibre exact. Je crois que le fer est semblable au platine, quant à sa propriété de ne pas développer de force électromotrice à son contact avec d'autres corps sans action chimique; mais il est évident aussi, d'après la différence qu'ils présentent dans l'acide nitrique fort et faible, qu'ils diffèrent essentiellement quant à leurs rapports électriques et quant au pouvoir de transmettre les courants électriques soit dans l'acide nitrique, soit dans le sulfure de potassium. Ce serait une manière tout à fait gratuite d'esquiver la difficulté, que de dire que l'acide nitreux doit être séparé des autres électrolytes, et classé avec les métaux quant à ses effets de contact.

Pour le physicien électro-chimiste, le cas qui précède n'est autre chose qu'un des nombreux exemples qui prouvent, que lorsque dans le circuit voltaïque il n'y a pas d'action chimique, il ne se forme pas de courant, et que, soit que l'on emploie pour électrolyte le sulfure de potassium ou l'acide nitrique, les résultats sont toujours les mêmes, le contact se montrant encore inefficace comme cause électro-motrice.

Je n'ai pas besoin de dire que l'introduction de divers métaux entre le fer et le platine, à leur point de contact, ne produit aucune différence dans les résultats, tandis que, comme je l'ai dit, la chaleur et l'action chimique, appliquées en ce point, produisent au contraire des effets sensibles, de sorte qu'on peut tirer des expériences qu'on a faites avec l'acide nitreux, les mêmes conclusions qu'on avait tirées de celles dans lesquelles on avait employé le sulfure de potassium.

J'ai employé ensuite pour extrémités de la partie solide du circuit, l'oxide de fer et le platine, et pour liquide l'acide nitreux; c'est-à-dire que je chauffai le fil de fer à la flamme d'une lampe à alcool, pour le recouvrir d'une couche d'oxide, comme le recommande Schœnbein, puis je m'en servis au lieu de fer pur. L'oxide de fer fut d'abord très-légèrement positif, puis immédiatement après neutre. Ce circuit, comme le premier, ne donne aucun courant à la température ordinaire, mais il diffère

beaucoup de l'autre par son pouvoir conducteur, car il est très-bon conducteur d'un courant thermo-électrique, l'oxide de fer n'offrant pas au passage du courant cet obstacle que lui oppose le fer polarisé. De là vient, que des écailles d'oxide de fer ne produisent pas de courant avec le platine, lorsque le circuit renferme l'acide nitreux, et ainsi le résultat de cette expérience s'accorde avec celui de l'expérience dans laquelle le liquide était le sulfure de potassium.

En se servant d'acide nitrique, il est nécessaire de prendre quelques précautions fondées sur l'observation suivante. Si le circuit est formé au moyen de l'acide nitreux vert, des lames de platine et du galvanomètre, au bout de quelques secondes toutes les traces du courant dû aux premières actions disparaissent; mais si l'on expose l'un des fils à l'air, et qu'on le replace immédiatement dans sa première position, il se forme un courant, et ce fil est négatif relativement à l'autre. Si l'un des fils n'est plongé que faiblement dans l'acide, par exemple d'un quart de pouce, alors, en élevant ce fil seulement d'un huitième de pouce et le replongeant immédiatement, le même effet est produit. L'effet est dû à l'évaporation de l'acide nitreux à la surface du fil. Je reviendrai peut-être là-dessus plus tard, mais je désire seulement indiquer à présent la précaution qui est nécessaire, c'est-à-dire de laisser les fils toujours plongés durant toute l'expérience.

Partant des faits décrits par Schœnbein quant à la manière dont le fer se comporte avec l'acide nitrique, je me servis de cet acide dans un circuit voltaïque formé de fer et platine. L'acide nitrique pur a un pouvoir conducteur si faible, que l'on peut le supposer capable d'arrêter tout courant dû à l'effet du contact entre le fer et le platine; et son emploi pour ces expériences présente divers inconvénients, puisque, agissant faiblement sur le fer, il produit un courant dû à l'action chimique

qui combine son effet avec celui du contact, tandis que le but est à présent, en excluant toute action chimique, de laisser isolée l'influence du contact. Cependant, les résultats qu'on a obtenus avec ce corps s'accordent avec les plus parfaits d'entre ceux qui ont été déjà décrits ; car, dans un circuit de fer, platine et acide nitrique, les effets supposés réunis de l'action chimique sur le fer, et du contact du fer et du platine entr'eux, peuvent produire un courant d'une certaine force constante indiquée par le galvanomètre; une faible action chimique, mise en jeu là où le fer et le platine étaient en contact comme avant, a produit un courant beaucoup plus intense que celui qui existait d'abord. Si donc, du premier courant faible, on soustrait la partie de l'effet due à l'action chimique, combien il est peu probable de supposer qu'un effet quelconque soit dû au contact des métaux !

Mais de l'acide nitrique rouge dans lequel plongent des lames de platine, conduit bien un courant thermo-électrique, et le conduit même lorsqu'il est considérablement étendu. Si l'on interpose cet acide rouge entre le fer et le platine, le pouvoir conducteur est tel, que la moitié du courant voltaïque qui a lieu peut être contrebalancée par un courant thermo-électrique de bismuth et d'antimoine. Une espèce de comparaison est ainsi établie entre un courant thermo-électrique d'une part, et, d'autre part, les effets supposés réunis de l'action chimique sur le fer, et du contact du fer et du platine. Maintenant, vu la faiblesse reconnue d'un courant thermo-électrique, on peut juger quelle sera au maximum l'énergie de la partie du second courant dû au contact, et combien peu elle peut rendre compte des courants intenses produits par les combinaisons voltaïques ordinaires.

Si, au lieu d'un fil de fer décapé, on se sert d'un fil oxidé à la lampe à alcool, associé avec le platine dans de l'acide nitrique pur concentré, il y a un courant faible, l'oxide de fer est positif relativement au platine, et les choses se passent de la

même manière qu'avec le fer. Il y a toutefois une différence, si l'on compare l'action de l'acide fort ou faible sur ce fil oxidé. En mélangeant un volume d'acide concentré avec quatre volumes d'eau, on observe avec cette dissolution moins de déviation qu'avec l'acide fort : le côté fer n'est pas alors sensiblement actif, à moins qu'on n'emploie les moyens les plus délicats pour observer le courant. Cependant, dans les deux cas, si on introduit une action chimique à l'endroit où avait lieu le contact métallique, le courant qui en résulte passe bien, et un courant thermo-électrique des plus énergiques peut même se montrer.

Je pris ensuite un autre liquide tout à fait différent des précédents : c'était une dissolution de potasse. Elle a déjà été employée par De la Rive avec le fer et le platine, et l'on sait qu'elle conduit si bien lorsqu'elle est concentrée, que même un courant thermo-électrique peut la traverser ; elle peut suffire donc pour constater un courant de contact, s'il en existe.

Cependant, lorsqu'une solution concentrée de cette substance fut employée à former un couple avec de l'argent et du platine (corps qui diffèrent assez l'un de l'autre lorsqu'ils sont plongés dans les acides nitrique ou muriatique), il se produisit un très-faible courant, et l'aiguille du galvanomètre s'arrêta presque à zéro. Le contact de ces métaux ne paraît pas produire un courant sensible, et cela tient, je le crois toujours, à ce qu'il n'existe dans ce contact aucun pouvoir électromoteur ; mais, si l'on remplaçait ce contact par une action chimique très-faible (celle que l'on produit en interposant un morceau de papier humecté d'acide nitrique étendu entre le platine et l'argent), on avait aussitôt un courant. Ainsi, dans ce cas, comme dans les précédents, le circuit avec une faible action chimique et sans contact métallique produit un courant, tandis que sans action chimique et avec contact métallique il n'en produit point.

Le fer ou le nickel associé avec le platine dans une solution concentrée de potasse est positif. La force du courant qui est produit dans ce cas diminue bientôt, et une heure environ après l'immersion elle est extrêmement faible. En interrompant alors le contact métallique, et le remplaçant par une faible action chimique, telle que celle de l'acide nitrique étendu, le courant qui en résulte se montre aussitôt. Ces cas sont analogues à ceux que nous avons déjà mentionnés, et ils font voir combien peu le contact seul peut agir, puisque l'effet réuni du contact du fer et du platine et de l'action chimique de la potasse sur le fer est presque nul par rapport à celui de l'action chimique de l'acide nitrique étendu.

J'ai pris ensuite, au lieu d'une dissolution concentrée de potasse, une solution beaucoup plus faible, formée avec un volume de la première et six volumes d'eau; mais les résultats avec l'argent et le platine ont été encore les mêmes; aucun courant n'est résulté du contact métallique, tant qu'il était la seule cause excitante, tandis qu'en lui substituant une légère action chimique, le courant était immédiatement développé. Le fer et le nickel, mis avec le platine dans la dissolution faible, ont aussi donné des résultats semblables, avec la seule différence que l'état positif de ces métaux était plutôt plus permanent qu'il ne l'était avec la dissolution concentrée; et cependant l'intensité de l'électricité dégagée était hors de toute proportion avec celle à laquelle on aurait dû s'attendre d'après la théorie du contact.

Il est donc démontré que le contact des divers métaux ou d'autres corps solides bons conducteurs, est tout à fait incapable de produire un courant soit lorsqu'une solution de potasse est le troisième élément du circuit, soit lorsqu'elle est remplacée par du sulfure de potassium, de l'acide nitreux hydraté, de l'acide nitrique ou un mélange d'acides nitrique et nitreux. De plus, tous les arguments relatifs à l'inefficacité du

contact de corps interposés au point de jonction des deux substances solides principales, et dont il a été parlé dans le cas du sulfure de potassium, s'appliquent aussi au cas de la potasse. Il en est de même pour tous les cas où l'on a un circuit conducteur, dans lequel le fluide interposé est sans action chimique, et où aucun courant n'est produit. Si l'on pouvait en présenter un seul dans lequel le liquide interposé fût sans action, et pourtant bon conducteur, et où en même temps un courant serait produit, alors, vraiment, la théorie du contact aurait en sa faveur un argument auquel on ne pourrait guère répondre. J'ai fait tout ce qui m'a été possible pour réaliser un cas pareil, mais je n'ai pu en trouver un seul.

Abordons maintenant un argument des défenseurs de la théorie du contact, qui, sans mettre cette théorie à même d'expliquer complétement la production de l'électricité dans la pile, anéantirait toutefois, s'il est exact, la force des raisonnements qui précèdent, mais qui, s'il est erroné, laisse sans défense la théorie en question. — Cet argument consiste à admettre que les divers conducteurs liquides employés dans les expériences précédentes, sont semblables aux métaux, c'est-à-dire qu'ils développent des forces électro-motrices dans leurs points de contact avec les métaux ou avec les autres corps solides conducteurs qui forment le circuit avec eux, forces dont l'intensité est telle, qu'elles se balancent toutes, de telle sorte qu'aucun courant n'est produit. Mais, quelle expérience peut-on citer à l'appui de cette supposition? où sont les mesures des forces électro-motrices qui la démontrent? Je crois qu'il n'en existe point.

La théorie du contact, après avoir posé pour base que le simple contact des substances dissemblables est un pouvoir électro-moteur, admet ensuite une différence entre les métaux et les liquides conducteurs, sans laquelle il est impossible que cette théorie puisse expliquer la production du courant dans la pile voltaïque ; mais puisque les effets de contact dans un circuit tout métallique sont supposés être toujours balancés, il

faut donc admettre également que les effets dus au contact des électrolytes ou des fluides interposés ne le sont point, et qu'ils sont au contraire assez éloignés de cet état d'équilibre, pour produire des courants très-puissants, même les plus énergiques qu'une pile voltaïque puisse développer. S'il en est ainsi, alors pourquoi la solution de sulfure de potassium ferait-elle une exception? Elle est tout à fait différente des métaux, elle ne paraît pas pouvoir conduire le courant sans être décomposée; c'est un électrolyte excellent, et dans certains cas, un électrolyte excitant qui produit des courants très-énergiques lorsqu'il agit chimiquement. Sous tous ces rapports, ce liquide est très-différent des métaux; et quant à son action, il est analogue aux électrolytes excitants, acides ou salins, que l'on emploie communément. Comment donc, sans une seule expérience directe et seulement dans le but d'éviter la conclusion de celles qui sont contraires à l'hypothèse qu'on veut soutenir, admettrait-on que ce liquide doive quitter la place qu'il occupe parmi les électrolytes, pour être mis dans le rang des métaux, et cela encore en vertu d'une propriété dont l'existence n'est, pour les métaux mêmes, qu'une simple supposition?

D'ailleurs, ce n'est pas seulement à l'égard du sulfure de potassium qu'il faut admettre l'exception que nous venons de combattre; il faut encore l'étendre à l'acide nitreux, à l'acide nitrique et même à la solution de potasse, car tous ces corps appartiennent à la classe des électrolytes, et ne donnent pourtant aucun courant lorsqu'il n'y a pas d'action chimique. Il faut encore faire l'exception à l'égard des solutions étendues de sulfure de potassium et de potasse, car elles présentent le même phénomène que les solutions plus concentrées. Et si les partisans du contact la réclament en faveur des solutions faibles, comment expliqueront-ils le cas de l'acide nitrique faible, qui, quant à l'action qu'il exerce sur le fer, ne ressemble point à l'acide nitrique fort, mais qui peut produire un courant énergique?

Le physicien qui part de la théorie chimique, n'est embar-

rassé par aucune de ces difficultés; car, par une simple expérience directe, il cherche d'abord si, parmi les substances qui forment le circuit, il en est qui agissent ou non chimiquement l'une sur l'autre. Si c'est le cas, il trouve en effet un courant correspondant; dans le cas contraire, il ne trouve aucun courant, quoique le circuit soit bon conducteur.

Il y a plus; si dans le couple fer, platine et solution de sulfure de potassium, qui ne produit pas de courant, nous remplaçons le fer par le zinc, on a un courant énergique. On peut au zinc substituer le cuivre, l'argent, l'étain, le cadmium, le bismuth, le plomb et d'autres métaux encore; mais je choisis le zinc parce que son sulfure se dissout, et que ce cas reste ainsi très-simple; et cependant l'effet est aussi fort qu'avec l'un quelconque des autres métaux. Maintenant, si la théorie du contact est vraie, et si le fer, le platine et le sulfure de potassium développent dans leurs points de contact des forces électro-motrices qui soient en équilibre parfait, pourquoi, lorsqu'on remplace le fer par le zinc, l'équilibre est-il détruit? Le changement d'un métal contre un autre dans un circuit métallique ne cause aucune altération de ce genre, non plus que celui d'un des corps solides conducteurs (chimiquement inactifs) contre un autre. Si la solution de sulfure de potassium doit être classée parmi les métaux relativement au rôle qu'elle joue dans les expériences que j'ai citées, alors d'où vient qu'elle agit d'une manière toute différente, et avec un pouvoir égal à celui du meilleur corps de l'autre classe, dans le cas du zinc, du cuivre, de l'argent, etc.? L'objection qui précède ne peut être réfutée par les partisans du contact, qu'avec le secours d'une nouvelle hypothèse : c'est d'admettre que le sulfure de potassium agit quelquefois comme le meilleur des métaux ou des conducteurs de la première classe, et quelquefois comme le meilleur des électrolytes, soit des conducteurs de la seconde classe. Mais ce serait pourtant une méthode de raisonner par trop commode dans une science expérimentale; et de plus, il est

malheureux pour cette supposition que cette seconde condition ne se trouve jamais isolée, de manière à présenter un cas dans lequel on ait un courant de contact seul ; un tel courant n'a jamais lieu sans cette action chimique, à laquelle on peut rapporter d'une manière si simple l'origine de tout le courant qui est alors produit.

Il est inutile de dire que le même argument s'applique avec autant de force aux divers cas dans lesquels on emploie l'acide nitreux, l'acide nitrique et la solution de potasse, et qu'il est fondé avec autant de vérité sur les résultats que ces substances ont donnés.

J'ai fait un très-grand nombre de circuits formés de trois substances toutes conductrices, et dans lesquels entrait le fil d'un galvanomètre, et cela dans l'espoir de trouver un arrangement qui produirait un courant sans action chimique. On pourra comprendre quels ont été le nombre et la variété de ces expériences par le résumé suivant, dans lequel les métaux, la plombagine, les sulfures et les oxides, tous conducteurs, même d'un courant thermo-électrique, ont été combinés des diverses manières qui sont indiquées à la suite du tableau, où chaque substance est désignée avec son numéro d'ordre :

1 Platine.
2 Fer.
3 Zinc.
4 Cuivre.
5 Plombagine.
6 Battitures de fer.
7 Peroxide de manganèse naturel.
8 Sulfure de cuivre gris.
9 Pyrites de fer naturelles.
10 Pyrites de cuivre *id.*
11 Galène.
12 Sulfure de cuivre artificiel.
13 Sulfure de fer *id.*
14 Sulfure de bismuth *id.*

1 et 2 avec 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 à tour.
1 et 3 avec 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14.
1 et 5 avec 6, 7, 8, 9,10, 11, 12, 13, 14.
3 et 6 avec 7, 8, 9,10,11, 12, 13, 14.
4 et 5 avec 6, 7, 8, 9,10, 11, 12, 13, 14.
4 et 6 avec 7, 8, 9,10,11, 12, 13, 14.
4 et 7 avec 8, 9,10,11,12, 13, 14.
4 et 8 avec 9,10,11,12,13, 14.
4 et 9 avec10,11,12,13,14.
4 et 10 avec11,12,13,14.
4 et 11 avec12,13,14.
4 et 12 avec13,14.
4 et 13 avec14.
1 et 4 avec12.

Marianini affirme, d'après ses expériences, que le cuivre est positif relativement au sulfure de cuivre ; d'après le même physicien, et conformément aux idées des Voltaïstes, le sulfure de cuivre est positif relativement au fer, et pour eux aussi le fer est positif à l'égard du cuivre. Ces trois corps devraient donc former un circuit puissant, et pourtant, au contraire, quel que soit le sulfure de cuivre que j'aie employé, je n'ai pas pu obtenir le plus léger effet avec cet arrangement.

Comme le peroxide de plomb donne un courant énergique dans une solution de sulfure de potassium, et même dans tout circuit dans lequel il peut céder une partie de son oxigène, je croyais raisonnable de m'attendre que son contact avec les métaux produirait un courant. Une partie de ce peroxide de plomb fut donc bien séchée, précaution nécessaire dans ce cas, puis on en forma les combinaisons suivantes :

Platine-zinc,	Peroxide de plomb.
Platine-plomb,	*id.*
Platine-cadmium,	*id.*
Platine-fer,	*id.*

De ces diverses combinaisons, aucune ne développa le plus léger courant, pourvu qu'on évitât toute différence de tempé-

rature, quoique dans chaque cas le circuit formé fût, quant à son pouvoir conducteur, parfait pour le but, c'est-à-dire capable de conduire même un faible courant thermo-électrique.

Dans la théorie du contact, ce n'est donc pas pour les métaux seuls qu'il faut admettre que leurs forces de contact sont balancées de manière à ne produire nul effet ; mais il faut faire la même supposition pour tous les corps solides qui sont capables de conduire l'électricité : le carbone, les oxides, les sulfures doivent être mis dans la même catégorie. Il en est de même pour les électrolytes que nous avons déjà cités, savoir : les solutions de sulfure de potassium, de potasse, les acides nitreux et nitrique, dans tous les cas où ils n'agissent pas chimiquement. De fait, tous les conducteurs qui n'agissent pas chimiquement dans le circuit doivent, selon la théorie du contact, être dans cette condition, du moins jusqu'à ce qu'on arrive à produire un courant voltaïque sans action chimique.

Ainsi, même en admettant que les résultats obtenus avec l'électromètre, par Volta et ses successeurs, prouvent que le simple contact développe une force électro-motrice, et peut produire un effet, certainement toute expérience dans laquelle le contact seul est en jeu, démontre que les forces électro-motrices sont toujours balancées dans un circuit ; car autrement, comment serait-il probable que les substances que nous avons citées ci-dessus, et qui sont si différentes les unes des autres, se ressemblassent sous ce rapport, à moins que cela ne vienne de ce que toutes ces substances coïncident en ceci qu'elles n'ont aucun pouvoir ? Mais alors, où est, dans la théorie du contact, la source du pouvoir qui produit le courant de la pile voltaïque ? Si les forces ne se balancent pas, il faut trouver un cas où le contact seul produise le courant, et alors où sont les résultats numériques qui indiquent qu'un tel cas soit possible ? Les partisans du contact sont tenus de trouver, non pas le

cas d'un courant infiniment petit, car il ne pourrait point rendre raison du courant de la pile voltaïque, et retomberait toujours dans le champ si bien défendu par De la Rive, mais bien un cas et des résultats d'une telle netteté et d'une telle importance, qu'ils soient dignes d'être mis en opposition avec les résultats si nombreux qui ont été indiqués par les partisans de l'action de chimique. Sans cela, la théorie du contact appliquée à la pile ne peut avoir aucun fondement solide. Pour éviter cette conséquence et d'autres semblables, la théorie du contact doit suivre une route tout à fait particulière et irrégulière. Ainsi, la force de contact de la solution de sulfure de potassium avec le fer doit être regardée comme balancée par la force réunie de son contact avec le platine, et du contact mutuel du fer et du platine; mais si l'on remplace le fer par du plomb, alors le contact du sulfure avec le dernier métal n'est plus équilibré par les deux autres contacts; la relation est tout d'un coup changée; après quelques secondes, lorsqu'un léger dépôt de sulfure a été formé par l'action chimique, le courant cesse, quoique le circuit soit bon conducteur, et maintenant il faut admettre que le liquide a repris sa relation primitive avec les métaux et le sulfure de plomb, et qu'il donne naissance à l'équilibre des forces de contact dans le circuit.

De même aussi, si l'on étend les solutions de sulfure et de potasse, il ne doit, d'après la théorie, en résulter *aucun changement* dans le caractère de la force de contact, tandis qu'avec l'acide nitrique, il faut, au contraire, supposer que ce caractère de la force change beaucoup. De même encore, quant aux acides et alcalis (tels que la potasse), dans les cas où ils produisent des courants, comme avec le zinc et le platine, par exemple, il faut admettre que la prépondérance de la force électro-motrice a lieu du même côté, quoique l'on dût attendre de ces corps des courants opposés, puisqu'ils diffèrent tellement dans leur nature.

Pour chaque cas de courant, les partisans du contact doi-

vent donc admettre, aux points de contact, des pouvoirs d'une force telle, qu'ils puissent s'accorder avec les résultats qu'ils obtiennent, et la théorie doit ainsi se plier constamment, sans qu'on puisse partir d'aucune relation générale pour les acides, les alcalis ou toute autre solution électrolytique. Le résultat revient donc à ceci : La théorie ne peut rien prévoir quant aux résultats ; l'expérience ne montre aucun cas de courant voltaïque produit sans action chimique ; et quant aux courants dont la production est liée avec l'action chimique, la théorie est obligée de se plier pour s'accorder avec les résultats réels.

Au lieu de tout cela, avec quelle simplicité la théorie chimique explique et combine, et même prévoit les nombreux résultats de l'expérience ! Quand il y a un courant, il y a action chimique ; quand cette action cesse, le courant cesse ; l'action est déterminée soit à l'un des pôles, soit à l'autre, selon les circonstances, et la direction du courant est invariablement associée avec la direction dans laquelle les forces chimiques obligent les éléments des corps à se mouvoir dans le circuit.

Si maintenant l'on considère, en outre, que les nombreux cas de circuits où il n'y a pas d'action chimique ne produisent aucun courant ; que ceux qui sont accompagnés d'une action chimique produisent toujours un courant ; qu'il en existe un nombre considérable dans lesquels l'action chimique sans contact produit un courant ; que l'on en connaît aussi plusieurs avec contact sans action chimique, et qui sont alors inactifs, comment ne pas conclure que la puissance d'une pile voltaïque provient de l'action de cette force chimique?

§ III. *Circuits actifs excités par une solution de sulfure de potassium.*

Davy fit, en 1812, une expérience pour démontrer que, de deux métaux différents, le cuivre et le fer, celui qui avait le

plus d'affinité pour l'oxigène était positif dans les solutions *oxidantes*, et que celui qui avait la plus forte affinité pour le soufre était positif dans les solutions *sulfurantes*. En 1827, De la Rive montra divers changements pareils dans l'état de polarité de deux métaux, produits en se servant de solutions différentes, et il en conclut que le simple contact des métaux ne pouvait pas être la cause de leurs polarités respectives, mais que c'était l'action chimique du liquide qui produit ces polarités. Dans un précédent Mémoire, j'ai cité l'expérience de Davy, et j'ai donné ses résultats comme preuve que le contact du fer et du cuivre ne pouvait pas causer le courant produit, puisque, si l'on prend de l'acide étendu au lieu du sulfure, le courant est renversé, et que cependant le contact des métaux reste le même. M. Marianini ajoute que le cuivre produit le même effet quand on en forme un couple avec l'étain, le plomb et même le zinc, et que l'argent se conduit également comme le cuivre. Dans le cas du cuivre, il explique l'effet produit en le ramenant au rapport électrique qui existe entre le fer et le nouveau composé formé sur le cuivre, et qui, selon Volta, est positif relativement au premier; et cependant, d'après ses propres expériences, cette même substance était négative par rapport au fer, si on se servait de la même solution.

Je désire, maintenant, étudier de nouveau la catégorie des faits qui se présentent quand une solution de sulfure de potassium est le liquide du circuit; car je pense qu'ils donnent la preuve la plus forte, que le courant dans la pile voltaïque ne peut pas être produit par le contact, mais bien par l'action chimique.

La solution de sulfure de potassium est un corps très-bon conducteur de l'électricité. Soumise au pouvoir décomposant d'une petite pile voltaïque, elle donna aussitôt du soufre pur au pôle positif, et un peu de gaz, probablement de l'hydrogène, au pôle négatif. Si on l'interpose entre des lames de platine, de manière à former une pile secondaire de Ritter, le passage d'un faible courant, durant quelques secondes seulement, rend cette

pile secondaire capable de produire un contre-courant, de sorte qu'elle ne conduit probablement pas sans éprouver une décomposition. Son action excitante consiste ou à abandonner un de ses éléments (le soufre) aux corps métalliques ou autres qu'elle peut attaquer, ou dans quelques cas, tels que lorsqu'elle agit sur les peroxides de plomb et de manganèse et le protoxide de fer, à enlever un élément au corps qui est en contact avec elle; le courant qui est développé, étant dirigé d'après cela dans l'un ou l'autre sens. Les affinités chimiques de ce sulfure sont telles, que dans plusieurs cas le soufre se combine avec celui des deux métaux qui n'est pas attaqué lorsqu'on emploie les conducteurs liquides ordinaires, et l'on obtient une belle inversion du courant relativement aux métaux; par exemple, si l'on emploie avec ce liquide le cuivre et le nickel, le soufre se combine avec le cuivre, tandis que lorsque l'on emploie les mêmes métaux avec les liquides conducteurs ordinaires, c'est le nickel qui est attaqué. L'excellent pouvoir conducteur du sulfure rend les courants produits évidents et très-forts; et il est bon de se rappeler que la force des courants développés, et indiqués par le galvanomètre, dépend à la fois de l'énergie (non de la simple quantité) de l'action mise en jeu, et de la faculté conductrice du circuit à travers lequel le courant doit passer. Comme liquide excitant, le sulfure de potassium présente encore un autre avantage eu égard aux recherches présentes : c'est de produire, par son action sur les métaux, des composés dont les uns sont insolubles et les autres solubles; et parmi les composés insolubles, quelques-uns sont excellents conducteurs, tandis que les autres n'ont aucun pouvoir conducteur quelconque.

Les expériences que nous allons décrire ont été faites, en général, de la manière suivante : On a préparé des fils de platine, d'or, de palladium, de fer, de plomb, d'étain et d'autres métaux malléables, tous d'environ $\frac{1}{20}$ de pouce de diamètre et de 6 pouces de longueur. Deux de ces fils, mis en communica-

tion avec les fils d'un galvanomètre, étaient plongés au même instant dans la solution de sulfure de potassium, et y demeuraient sans y être agités ; puis on observait en même temps les effets produits. Dans chaque cas, les fils étaient soigneusement nettoyés avec du papier de verre fin et un linge propre ; quelquefois on les brunissait pour polir la surface. Toutes les précautions nécessaires étaient prises pour éviter toute différence de température aux points de jonction des divers métaux avec les fils du galvanomètre.

Etain et platine. Lorsque l'étain était associé avec le platine, l'or, ou tout autre métal qui est chimiquement inactif dans la solution du sulfure, il se produisait un courant énergique ; l'étain était positif relativement au platine au travers de la solution, ou en d'autres termes, le courant allait de l'étain au travers de la solution jusqu'au platine. Au bout de très-peu de temps, ce courant diminuait beaucoup de force, et, dix minutes après, l'aiguille du galvanomètre était presque à 0°. En cherchant alors à faire passer dans le circuit le courant thermo-électrique d'un couple antimoine et bismuth, on trouva qu'il ne pouvait pas passer, le circuit ayant perdu son pouvoir conducteur. Cela venait de la formation, sur l'étain, d'un sulfure insoluble non conducteur.

Marianini pense que, dans le cas du cuivre (et moi je présume qu'il devrait en être de même dans tous les cas semblables, car la même loi doit les régir), le courant est dû à la force de contact du sulfure formé. Mais cette explication ne peut pas être admise ; car, comment un corps non conducteur peut-il former un courant soit par contact, soit par tout autre moyen ? On n'en connaît pas d'exemple ; et cette idée est contraire à la nature des phénomènes dont il s'agit ; de sorte donc, que le contact du sulfure ne peut pas ici produire le courant ; et si d'ailleurs il le pouvait ici, pourquoi ne le pourrait-il pas dans un autre cas ?

Quelle belle preuve, au contraire, le résultat que nous ve-

nons de décrire ne donne-t-il pas en confirmation de la théorie chimique ! L'étain peut se combiner avec le soufre du conducteur liquide pour former un sulfure, et il en résulte un courant qui est en rapport avec le degré d'énergie de cette action, et qui dure autant qu'elle; mais, si le sulfure qui est formé et qui recouvre le métal éloigne le liquide et empêche une action chimique ultérieure, alors le courant cesse. Il n'est pas même nécessaire, pour cela, que ce corps soit non conducteur, car les sulfures conducteurs donneront le même résultat. Quoi donc de plus clair ? Lorsque le sulfure est prêt à se former, un courant est produit; mais lorsqu'il est formé, son contact ne peut rien faire pour produire le même effet.

Plomb. Ce métal présente un beau résultat dans la solution de sulfure de potassium. En employant le plomb et le platine, le plomb fut d'abord fortement positif; mais peu de secondes après, le courant diminua, et, deux minutes après, l'aiguille du galvanomètre était à 0°. Cependant, cet arrangement conduisait encore très-bien un faible courant thermo-électrique, parce qu'ici le pouvoir conducteur n'a pas disparu comme dans le cas de l'étain; car le sulfure de plomb qui se dépose est conducteur. Néanmoins, quoique conducteur, il arrête l'action chimique, et celle-ci cessant, le courant cesse aussitôt.

Le plomb et l'or ont produit les mêmes effets ; le plomb et le palladium de même; le plomb et le fer de même, pourvu qu'on fît attention à la tendance qu'a le fer, dans les circonstances ordinaires, à produire un courant qui chemine du conducteur liquide à lui-même.

Le plomb et le nickel donnent encore les mêmes résultats. Dans tous ces cas, lorsque le plomb est enlevé puis lavé, on le trouve recouvert d'une belle pellicule polie de sulfure de plomb.

Avec le plomb, nous avons donc un sulfure conducteur, et cependant nous n'avons aucun signe qui prouve que son contact ait pu produire un courant, pas plus que dans le cas du sulfure d'étain non conducteur. Il n'y a aucune action nouvelle

et additionnelle produite par le corps conducteur. Un morceau de plomb, mis seul dans la solution de sulfure de potassium, a bientôt sa surface convertie en sulfure de plomb, et l'on a ainsi la preuve que, même lorsque le courant ne peut pas être formé, il y a, dans de telles circonstances, une force (chimique) présente et active, et qu'une telle force peut produire un courant de force chimique, lorsque l'on donne à l'arrangement la forme d'un circuit. La force créée au point d'excitation, se montre soit par la formation du sulfure de plomb, soit par la production d'un courant. A mesure que la formation de l'un décroît, la production de l'autre diminue, quoique tous les composés qui sont formés soient conducteurs, et que le contact subsiste toujours, pour produire l'effet qu'il serait capable de déterminer.

On pourrait dire, peut-être, que le courant est dû au contact entre la solution de sulfure et le plomb (ou l'étain si c'était le cas), qui a lieu au commencement de l'expérience, et que lorsque l'action cesse, cela provient de ce qu'un nouveau corps, le sulfure de plomb, est introduit dans le circuit, les contacts divers étant alors balancés relativement à leur force. Mais ce serait retomber dans la supposition que nous avons déjà combattue plus haut, savoir : que la solution de sulfure de potassium peut être rangée dans la même classe que les métaux ou les corps pareils qui donnent des effets de contact, qui se balancent relativement à quelques-uns de ces corps (comme dans ce cas relativement au sulfure de plomb produit), mais non relativement à d'autres, comme le plomb, quoique le plomb et son sulfure soient tous deux dans la même catégorie que les métaux en général.

La complète improbabilité de cette manière de voir, et l'absence de toute preuve expérimentale pour l'appuyer, ont été déjà établies [1].

[1] Nous omettons ici quelques passages du mémoire de M. Faraday, dans lesquels l'auteur revient sur cette idée qu'il a déjà développée, sa-

Quoique je veuille éviter trop de détails, je suis encore forcé de citer quelques-uns des faits que je choisis parmi le grand nombre de ceux que j'ai étudiés et qui m'ont convaincu.

Bismuth. Ce métal, lorsqu'il est associé avec le platine, l'or ou le palladium dans la solution du sulfure de potassium, donne des couples actifs dans lesquels il est positif. Avant une demi-heure le courant cesse, mais le circuit est encore bon conducteur des courants thermo-électriques. Le bismuth avec le fer et le nickel produit le même résultat final. Le bismuth et le plomb donnent un couple actif; d'abord le bismuth est positif, au bout d'une minute ou deux le courant cesse, mais le circuit conduit encore bien le courant thermo-électrique.

Ainsi, tandis que le sulfure de bismuth se forme, le courant est produit; lorsque l'action chimique cesse, le courant cesse aussi, quoique le contact subsiste et que le sulfure soit bon conducteur. Dans le cas du bismuth et du plomb, l'action chimique a lieu des deux côtés, mais elle est plus énergique sur le bismuth, et le courant marche d'après cela. Même dans ce cas, la cessation de l'action chimique cause la cessation du courant.

Dans les expériences avec le plomb et le bismuth, j'ai parlé des couples que ces métaux forment avec le platine, l'or, le palladium, le fer et le nickel, parce que, croyant d'abord que les résultats prouvent que toute espèce de courant provient de l'action chimique, je me suis assuré ensuite, par l'inactivité des couples formés au moyen de combinaisons de ces derniers métaux entre eux, que leur contact ne produit aucun effet.

Cuivre. Si l'on associe ce corps avec le platine, l'or, le fer

voir que l'espèce d'équilibre entre les forces électro-motrices par lequel on explique dans la théorie du contact l'absence d'un courant dans un circuit tout métallique, ne peut, sans tomber dans des hypothèses évidemment contradictoires, rendre compte de la nature d'action qui s'observe dans un couple où entre un liquide, qui dans d'autres cas semblables produit un effet sensible. (R.)

ou quelque autre métal chimiquement inactif dans la solution du sulfure, l'on a un couple actif, dans lequel le cuivre est positif relativement à l'autre métal. Quoique l'action diminue, elle ne cesse pas, comme dans les cas précédents, et cela, par cette raison très-simple, que le sulfure formé n'est pas compacte, mais poreux, et n'adhère donc pas au cuivre, mais s'en sépare sous forme d'écailles. De là résulte un renouvellement continuel de l'action chimique entre le métal et le conducteur liquide, et par conséquent la continuation du courant. Si au bout de quelque temps on enlève la plaque de cuivre, qu'on la lave, la sèche et l'essuie, on emporte ainsi une partie du sulfure en écailles, et la lime ôte le reste aisément. Au contraire, si on laisse la plaque de cuivre dans une grande quantité de sulfure de potassium, l'action chimique continue, et la croûte de sulfure de cuivre devient de plus en plus épaisse.

Si, comme Marianini l'a démontré, on plonge une plaque de cuivre dans la solution de sulfure, et si on l'enlève avant que le dépôt formé soit assez épais pour se séparer du métal qui est dessous, si on la lave, la sèche et la replonge dans la solution en l'associant au platine ou au fer, le cuivre sera d'abord neutre ou souvent même négatif relativement à l'autre métal ; résultat qui est tout à fait contraire à l'idée que la simple présence du sulfure à sa surface puisse avoir donné naissance au premier courant énergique dans lequel le cuivre est positif. Il y a, du reste, une observation qui prouve que ce n'est pas la simple *présence*, mais la *formation* du sulfure, qui donne naissance au courant ; c'est que, si on laisse la plaque dans la solution, assez longtemps pour que celle-ci pénètre la croûte de sulfure de cuivre et recommence à agir sur le métal placé au-dessous, alors la plaque devient active et il se produit un courant.

J'ai préparé du sulfure de cuivre en chauffant au rouge un gros fil de cuivre dans un vase florentin, ou dans un creuset, plein de vapeurs de soufre. Le corps produit ainsi est sous une forme très-bien appropriée aux expériences et bon conducteur;

mais il n'est pas sans action sur la solution sulfurée, à laquelle il peut prendre encore du soufre, et il résulte que dans une telle solution il est positif relativement au platine et au fer. Si l'on laisse ce sulfure de cuivre longtemps dans la dissolution, puis qu'on le lave et le sèche, il acquiert, en général, l'état final de saturation soit partiellement, soit partout; il est alors inactif, comme le sulfure formé sur le cuivre, c'est-à-dire que, lorsque son action chimique est terminée, il cesse de produire un courant.

Le *Sulfure de cuivre gris naturel* se conduit de même; il prend le soufre au liquide, et passe à un degré supérieur; et comme il est aussi conducteur, il produit un courant dans lequel il est positif aussi longtemps que l'action continue.

Mais, lorsque le cuivre est *complètement sulfuré*, alors toutes ces actions cessent, quoique le sulfure soit bon conducteur, que les contacts subsistent, et que le circuit laisse passer aisément un faible courant thermo-électrique.

Antimoine. Ce métal, lorsqu'on le met seul dans une solution de sulfure de potassium, est attaqué, et il se forme du sulfure d'antimoine qui n'adhère pas fortement au métal, mais s'enlève par le frottement. D'après cela, si l'on forme un circuit avec l'antimoine, le platine et la solution, l'antimoine est positif, et il se forme un courant énergique qui persiste. Voilà encore un autre bel exemple de changements, dans lequel la théorie chimique peut très-facilement rendre compte des effets qui ont lieu, tandis que la théorie du contact ne le peut nullement. Le sulfure n'est pas conducteur tant qu'il est à l'état solide; il ne peut donc pas se faire qu'aucun contact de ce sulfure produise un courant; il ressemble, sous ce rapport, au sulfure d'étain. Mais cette circonstance n'ôte pas la possibilité d'un courant chimique; car, comme le sulfure forme une croûte poreuse et non continue, le liquide peut pénétrer jusqu'au métal, et l'action continuer.

Argent. Ce métal, associé avec le platine, le fer ou d'autres

métaux inactifs dans le sulfure, est fortement positif, et donne un courant continu. De plus, si l'on examine une plaque d'argent recouverte de sulfure par la simple action de la solution, l'on trouve que la croûte est cassante, et qu'elle se sépare presque aussitôt du métal. Donc, sous ce rapport, l'argent et le cuivre sont semblables, et, par conséquent, l'action continue dans les deux cas; mais ils diffèrent en ceci, que le sulfure d'argent n'est pas conducteur des courants faibles, et, sous ce rapport, ce métal est analogue à l'antimoine.

Cadmium. Le cadmium donne, avec le platine, l'or, le fer, etc., un fort courant dans la solution de sulfure, et le cadmium est positif. Ce courant dure souvent deux à trois heures et plus. Si on enlève le cadmium, qu'on le lave et l'essuie, on trouve que le sulfure se sépare aisément en écailles.

Quelquefois le courant cesse promptement, et alors on observe que le circuit ne conduit plus le courant thermo-électrique; dans ces cas, en examinant le cadmium, on trouve la croûte de sulfure fortement adhérente, et c'est plus spécialement le cas qui se présente, lorsqu'on a poli ce métal au brunissoir avant l'expérience. Il résulte de là, que le sulfure de cadmium n'est pas conducteur, et que son contact ne peut donc pas avoir été l'origine du courant, comme Marianini le suppose. Tous les résultats qu'il donne sont en parfait accord avec la théorie chimique, et tout à fait contraires à celle du contact.

Zinc. Ce métal, mis avec le platine, l'or, le fer, etc., dans la solution de sulfure, produit un courant très-fort; il est positif et le courant est permanent. Le sulfure de zinc n'est pas conducteur de l'électricité; mais il est soluble dans le sulfure de potassium, propriété facile à reconnaître en versant une goutte d'une solution de zinc dans le sulfure de potassium; si l'on agite légèrement, il se précipite une grande quantité de sulfure de zinc, mais si l'on agite fortement, ce sulfure est dissous. Il suit de là, que lorsque l'on ôte le zinc de la solution,

il est complétement débarrassé de sulfure, et que c'est, d'après la théorie chimique, la raison toute naturelle pour laquelle l'action continue. Mais comment la théorie du contact pourrait-elle attribuer le courant à quelque contact du sulfure métallique, puisque ce sulfure est d'abord non conducteur, et ensuite puisqu'il est dissous et entraîné dans la solution au moment où il se forme?

Ainsi, tous les phénomènes qu'on observe en employant le sulfure de potassium comme liquide conducteur, confirment la théorie chimique, et sont contraires à celle du contact. Avec l'étain et le cadmium, ce liquide donne naissance, par son action, à un sulfure non conducteur imperméable; avec le plomb et le bismuth, à un sulfure conducteur également imperméable; avec l'antimoine et l'argent, à un sulfure non conducteur perméable; avec le cuivre, à un sulfure conducteur perméable; et avec le zinc, à un sulfure non conducteur soluble. L'action chimique et le courant qui en résulte correspondent parfaitement à toutes ces variations; mais si l'on essaie de les expliquer par la théorie du contact, on ne peut le faire qu'en la rendant encore plus tortueuse qu'avant: il faudrait introduire encore de nouvelles suppositions pour expliquer des effets qui deviennent autant de cas spéciaux.

Solution de proto-sulfure de potassium, ou *bihydro-sulfure de potasse*. Je ne me suis servi de cette solution, comme liquide conducteur, que dans un petit nombre de cas. Les résultats ont été généralement d'accord avec ceux qui ont déjà été indiqués; mais je ne crois pas nécessaire d'en décrire les détails. La solution avait été préparée en faisant passer pendant vingt-quatre heures de l'hydrogène sulfuré dans une solution concentrée de potasse caustique pure.

Le fer et le platine forment, avec cette solution, un couple dans lequel le fer est d'abord négatif, puis graduellement neutre, et finalement positif. La solution agit d'abord comme le sulfure jaune, en réduisant l'oxide, et ensuite, apparemment

d'une manière directe sur le fer, en dissolvant le sulfure formé. Le nickel était d'abord positif relativement au platine, et continua de même, quoiqu'en ne produisant qu'un courant faible. Si on substituait au contact métallique une faible action chimique, il passait un courant énergique. Le cuivre était fortement positif par rapport au nickel et au fer; et de même aussi le platine, l'or et les autres métaux qui n'étaient pas attaqués par la solution. L'argent était positif à l'égard du nickel, du fer, et même du plomb, du platine, de l'or, etc. Le plomb est positif relativement au platine; le courant diminue alors, mais ne cesse pas. Le bismuth est aussi positif d'abord; mais quelque temps après, le courant cesse presque entièrement, comme avec le sulfure de potassium jaune.

Le sulfure de cuivre gris naturel, et le sulfure artificiel sont positifs relativement au platine et aux métaux inactifs; mais les pyrites de cuivre jaunes, les pyrites de fer jaunes et la galène sont inactives avec ces métaux dans la solution, de même qu'elles l'avaient été avec la solution du bi-sulfure jaune. Cette solution, comme au reste on pouvait s'y attendre d'après sa composition, a plus les caractères alcalins que le sulfure jaune.

Avant de terminer l'exposition des résultats que j'ai obtenus avec les solutions sulfurées dont j'ai fait usage comme électrolytes excitants, je citerai encore le curieux et intéressant phénomène de changement que l'on observe lorsque le cuivre et l'argent, ou deux morceaux de cuivre, ou deux morceaux d'argent forment un couple avec la solution jaune. Si les métaux sont le cuivre et l'argent, le cuivre est d'abord positif et l'argent n'est point terni; peu de temps après cette action cesse, et l'argent devient positif; au même instant il commence à se combiner avec le soufre, et se couvre de sulfure d'argent; peu d'instants après, le cuivre redevient positif, et ainsi l'action change plusieurs fois d'un côté à l'autre, et le courant de même, selon que les circonstances deviennent tour à tour favorables à l'action chimique sur l'un ou sur l'autre des métaux. Mais com-

ment peut-on croire que le courant produit le premier soit dû en aucune manière au contact du sulfure de cuivre formé, puisque sa présence devient à la fin la raison pour laquelle ce premier courant diminue, et pour laquelle l'argent (qui est originairement plus faible, et qui n'a encore aucun sulfure déposé sur lui) peut prendre pendant quelque temps le dessus, et produire un courant supérieur à celui qui est excité par l'action exercée sur le cuivre? Quelle cause peut rendre compte de ces changements, si ce n'est l'action chimique, action qui, à ce qu'il semble, explique avec la plus grande simplicité tous les effets qui sont produits, quelle que soit la variété du mode d'action et des circonstances qui les accompagnent.

NB. *La seconde partie du Mémoire de M. Faraday, paraîtra dans le prochain numéro.*

SUR L'INDUCTION DE LA DÉCHARGE DE LA BATTERIE, par M. CH. MATTEUCCI.

Lorsque j'ai entrepris l'étude du courant secondaire développé par induction au moyen du courant de la bouteille de Leyde, j'ai pris pour mesure de la direction et de l'intensité de ce courant, le degré et le sens de l'aimantation qu'il développe dans une aiguille d'acier qui est contenue dans une spirale cylindrique *dextrorsum* parcourue par ce courant d'induction. M. Henry et M. Marianini, qui s'occupaient dans ce même temps de l'étude de ce phénomène, ont employé le même moyen; seulement M. Marianini se servait du magnétisme temporaire. Sans connaître les travaux l'un de l'autre, nous avons publié nos résultats, et ils se trouvent parfaitement d'accord. Ces résultats peuvent se réduire aux suivants : 1° si la décharge est faible,

le courant secondaire est dirigé en sens inverse du courant de la bouteille, dans tout autre cas il a la même direction que ce dernier ; 2° si les deux circuits s'éloignent l'un de l'autre, on arrive toujours à une certaine distance, à laquelle le courant secondaire se trouve renversé ; 3° des lames métalliques intermédiaires détruisent le courant secondaire en commençant par le produire en sens inverse, et dans le même temps un courant secondaire dirigé dans le même sens que celui de la bouteille, parcourt la lame. M. Riess a étudié aussi ce même sujet en se servant d'un thermoscope pour mesurer l'intensité du courant secondaire ; il est parvenu à des résultats remarquables et qui peuvent en quelque façon se traduire dans ceux que nous avons obtenus ; ce savant accuse d'incertitude le procédé que nous avons employé pour déterminer la direction du courant, en rappelant le beau travail de M. Savary, qui prouve comment le sens et le degré d'aimantation sont variables dans des circonstances que jusqu'ici on n'a pu soumettre à aucune loi générale.

Depuis mes premières recherches j'ai beaucoup réfléchi aux résultats de M. Savary, et l'on peut voir, dans mon mémoire, qu'en employant des décharges très-faibles et des circuits très-longs, j'ai tâché de me mettre dans les conditions dans lesquelles l'action magnétique du courant ne présente plus d'anomalies. Je persiste à croire que l'indication de l'aimantation est toujours juste pour mesurer l'intensité et la direction du courant : j'espère qu'on ne tardera pas à le prouver. Je crois ce procédé plus sensible que tous les autres que nous pouvons employer, et capable de nous indiquer, dans la durée et dans la force du courant, des variations qui échappent aux autres. Toutefois j'ai voulu essayer si on aurait pu employer le galvanomètre dans ces recherches. J'ai pris pour cela un galvanomètre de Gourjon, qui a servi à Melloni pour les recherches sur la chaleur. J'ai toujours employé mes deux spirales planes, dont chacune se compose de 23 mètres de fil de cuivre. Ces deux spirales sont très-rapprochées l'une de l'autre, et ne sont sé-

parées que par une lame de verre très-mince. C'est avec cet appareil que j'ai obtenu pour la première fois des étincelles d'induction très-brillantes, en employant une des plus petites bouteilles de Leyde qu'on puisse faire, avec un flacon d'eau de senteur. Je me suis bientôt aperçu que, pour avoir des signes au galvanomètre, il fallait employer une batterie. Les batteries que j'ai employées étaient de 4, 8, 10, 12 bouteilles, et avaient $0^{m.c.}$,3864, $0^{m.c.}$,6828, $0^{m.c}$,9660, $2^{m.c.}$,152 de surface armée.

Avant d'exposer les résultats que j'ai obtenus, j'avoue que, surtout avec des charges d'une tension un peu forte, j'ai toujours vu une étincelle jaillir dans le circuit du galvanomètre. Il aurait fallu employer un galvanomètre dont le fil eût été bien recouvert de vernis comme ceux de Colladon. J'ai obtenu des nombres assez constants, mais que je me garderai bien de donner comme invariables et comme établissant une loi exprimée numériquement. L'étincelle qui éclate dans le circuit du galvanomètre doit toujours détruire une portion de l'action du courant, et cette portion doit être variable dans chaque cas. Avec une batterie de 12 bouteilles, j'ai obtenu les nombres suivants :

Tension de la batterie.	Deviation.
10°	4°
20	8
30	12
40	16

La direction du courant secondaire est toujours la même que celle du courant de la bouteille, qui va de la surface qui communique au conducteur de la machine, à l'autre qui communique au sol. Si l'on charge davantage cette batterie, jusqu'au point où l'on aperçoit le bruit de la décharge spontanée, l'aiguille du galvanomètre est poussée jusqu'au delà de 90°. J'ai comparé les effets des deux batteries de 4 et de 8 bouteilles

pour les mêmes degrés de tension et j'ai obtenu, pour les courants secondaires, les nombres suivants :

Tension.	Avec les 4 bouteilles.	Avec les 8 bouteilles.
10°	3°	4°
20	4 ex.	7 ex.
30	6	9
40	8	10
50	10	16

La direction a été encore comme la précédente. On voit clairement que l'intensité du courant secondaire croît avec la tension et avec la quantité d'électricité qui se décharge à travers le circuit primitif. Si on fait varier la distance entre les deux spirales, le courant secondaire ne change pas de direction ; il s'affaiblit rapidement, se réduit à zéro, mais on n'obtient jamais un courant inverse comme l'indiquerait le procédé de l'aimantation employé avec des décharges très-faibles. Voici quelques nombres : la charge était de 8 bouteilles et constamment à 40° de tension.

Distance entre les deux spirales.	Déviation du galvanomètre.
$0^{m},003$	17°
0,01	9 ex.
0,02	8
0,06	4
0,12	zéro.

Afin d'établir la loi qui devait bien lier la direction de ce courant secondaire de la bouteille de Leyde, avec les effets d'induction voltaïques découverts par Faraday, j'ai tenté de multiplier le nombre des spirales pour obliger le courant secondaire à devenir primitif sur un autre circuit. L'expérience a réussi très-aisément. J'ai construit trois couples de spirales planes du même fil de cuivre et de la même longueur que les deux spirales précédentes. C'est une expérience très-remarquable que de

faire fonctionner ces trois couples de spirales de manière à obtenir l'étincelle. La disposition de l'expérience est très-simple : On ajoute à la seconde spirale, c'est-à-dire à celle dans laquelle a lieu la première induction, une autre spirale et à une certaine distance. Une quatrième spirale est placée comme la seconde et la première, en face de la troisième. A cette quatrième spirale on en ajoute encore une cinquième, et en face de celle-ci on met, comme pour la deuxième et la quatrième, une sixième spirale. On dispose le circuit de manière qu'il y ait une interception dans le circuit de la deuxième et de la troisième, une autre dans celui de la quatrième et de la cinquième, et enfin une dernière dans celui de la sixième. Il suffit de faire passer la décharge d'une très-petite bouteille à travers le premier circuit, pour voir à l'instant, dans tous les points d'interception, une étincelle qui semble partout avoir le même éclat. Mes premières recherches ont été dirigées dans le but d'établir la direction des différents courants induits et inducteurs à la fois. J'ai commencé avec deux couples de spirales, en employant deux galvanomètres en communication avec la deuxième et avec la quatrième spirale. Mes expériences ont été faites avec la batterie de douze bouteilles, depuis 10° jusqu'à 40° de tension. Les couples des spirales n'étaient séparés que par une lame de verre très-mince. Le tableau suivant présente les résultats de mes expériences que j'ai répétées plusieurs fois avec M. Pacinotti, mon collègue, qui m'a beaucoup aidé dans ces recherches (*fig.* 1). Quand on emploie trois couples de spirales au lieu de deux, les résultats, avec les mêmes décharges, se produisent dans le même sens (*fig.* 2). On voit très-aisément que, lorsque le courant induit devient inducteur, le courant qu'il développe est toujours dirigé comme il le serait si l'induction était produite par un courant voltaïque qui commence, c'est-à-dire que la direction est inverse de celle du courant inducteur. C'est présisément le contraire de ce qui arrive pour le premier courant d'induction que la décharge

produit ; le courant d'induction a la même direction que le courant inducteur, il agit par conséquent comme un courant voltaïque qui cesse.

J'ai voulu étudier les rapports d'intensité de ces différents courants d'induction. Je donne toujours des résultats numériques en me défiant un peu de leur exactitude. D'abord les aiguilles du galvanomètre perdent beaucoup de leur degré d'aimantation par l'effet de ces courants, et il y a toujours quelque petite étincelle qui éclate. C'est pour cela que, dans toutes ces expériences, je n'ai jamais pris note d'un résultat sans voir si, en renversant la position des extrémités du galvanomètre, le sens de la déviation était également renversé. En employant le même galvanomètre réuni successivement aux spirales 2, 4, 6, et avec la même charge de 10°, j'ai obtenu 7° ex., 3°, 1° : ces nombres donnent l'intensité pour le courant d'induction de premier, de deuxième et de troisième ordre.

Il était important d'étudier la direction du courant lorsque l'étincelle éclatait dans le circuit secondaire. Ayant fait quelque essai avec le galvanomètre, j'ai trouvé que la déviation était à peine sensible dans ce cas, et que, même en faisant décharger mes bouteilles directement, la déviation n'était pas aussi grande qu'avec mes courants d'induction. J'ai employé, au lieu du galvanomètre, un procédé très-simple qui m'a été suggéré par M. Pacinotti : c'est celui du trou que l'étincelle électrique fait dans le papier toujours près de la pointe négative. L'appareil est très-simple, très-sensible, et constant dans ses résultats. En interrompant mes circuits de deuxième et de troisième ordre, j'avais des étincelles d'induction qui faisaient encore un trou très-visible. Je prends deux lames d'étain terminées en pointe, je les colle, l'une au-dessus, l'autre au-dessous d'un morceau de papier commun, en laissant les deux pointes à deux millimètres de distance entre elles. Lorsque l'étincelle a éclaté, on trouve un trou sur l'extrémité négative. Ordinairement on obtient un autre signe également constant : c'est celui d'une

tache noire près de la pointe positive. Dans un très-grand nombre d'expériences que j'ai faites, le phénomène du trou à la pointe négative a été toujours constant ; l'autre signe ne manque que très-rarement. J'ai donc disposé plusieurs de ces appareils dans mes spirales, c'est-à-dire à la seconde, à la quatrième, à la sixième spirale. On voit partout, avec une décharge de 10° de la batterie de 12 bouteilles, le trou se former, et la direction des différents courants d'induction peut se voir très-aisément dans les tableaux suivants (*figures* 3 et 4).

La loi de la direction des courants d'induction produits par la décharge de la batterie, et des courants d'induction que les courants induits développent, est évidente. Lorsque le circuit secondaire est ouvert et qu'il y a étincelle, le courant secondaire est dirigé en sens inverse du courant primitif et ce résultat se vérifie pour le courant même de la bouteille. En effet, le premier courant d'induction a une direction opposée à celle qu'il a lorsque son circuit est fermé. L'induction est donc sujette à la même loi que les courants voltaïques qui commencent à agir. On peut voir ce qui arrive lorsqu'on compare des circuits fermés et des circuits ouverts. On trouve partout vérifié ce qu'on voit arriver pour le premier courant secondaire : si le circuit est fermé, le courant secondaire a la même direction que le courant de la bouteille. Je donne ici plusieurs tableaux qui le prouvent avec évidence, et dont les résultats ont été bien des fois confirmés (*fig.* 5 et 6). On voit donc que, quel que soit le circuit secondaire qu'on prend, le courant qui s'est développé par induction est toujours dirigé comme le courant inducteur si son circuit est fermé, l'autre étant ouvert, ou si son circuit est ouvert, l'autre étant fermé. Si on tient le galvanomètre dans le circuit ouvert, on obtient des déviations très-petites et à peine sensibles à l'instrument que j'ai employé : j'ai toujours trouvé que lorsque les deux pointes étaient très-rapprochées, l'aiguille déviait en donnant la même indication que le trou. Si l'on éloignait les deux pointes, l'indication du galvanomètre paraî-

trait renversée. C'est un sujet qui mérite une étude approfondie et pour lequel j'ai déjà disposé des appareils avec M. Pacinotti. Peut-être l'indication du galvanomètre manque-t-elle dans ce cas, les actions inductives toujours contraires du courant qui commence et du courant qui cesse n'étant pas bien séparées. C'est une question qu'on parviendra peut-être à résoudre lorsqu'on pourra obtenir des signes d'induction par une décharge de la batterie opérée lentement, de manière à voir dans l'obscurité un courant continu de lumière. Jusqu'ici tous les essais que j'ai faits dans ce sens ont été inutiles. Je suis persuadé qu'il faut isoler davantage le fil du galvanomètre et celui des spirales.

Je n'ai fait qu'un petit nombre d'expériences sur l'action des lames interposées entre les spirales. D'abord je dirai que si on oblige le courant primitif de la batterie à produire deux courants secondaires, en le plaçant au milieu des deux spirales, le courant d'induction qu'il développe dans chacune de ces spirales est toujours dirigé comme lorsqu'il n'y a qu'une seule spirale secondaire, et l'intensité de ce courant est égale à celle qu'il développe lorsqu'on supprime une de ces spirales secondaires. Une des spirales secondaires n'a plus aucun effet sur l'affaiblissement de l'autre courant secondaire, si son circuit n'est pas fermé. Au contraire, si on met en contact avec la spirale secondaire une autre spirale fermée, de manière qu'elle se trouve entre la spirale qui est traversée par la décharge de la batterie et une autre toute pareille, le courant secondaire a le même sens qu'il aurait sans cette spirale, et son intensité paraît augmentée.

L'action des lames non-conductrices interposées est nulle. Si on emploie des lames métalliques, le courant secondaire est considérablement affaibli, mais sa direction ne change pas. C'est ainsi qu'une lame de zinc de 1 $\frac{1}{2}$ millimètre d'épaisseur détruit le courant d'induction d'une décharge de 8 bouteilles à 40°, et à la distance de $0^{m},01$ entre les deux spirales. Une lame très-mince d'étain n'a aucune influence sur cette décharge;

il en faut cinq l'une sur l'autre pour réduire la déviation à 5°, de 9° qu'elle était sans lames. Une lame d'argent et de cuivre très-mince empêche la production du courant secondaire. Il paraît donc que, pour réduire d'une quantité donnée la propriété qu'a le courant de produire l'induction, il faut interposer une lame métallique dont l'épaisseur soit en raison inverse de sa conductibilité.

J'ai voulu essayer si je pourrais obtenir des signes au galvanomètre, en coupant la lame métallique d'étain et en faisant toucher les deux fils du galvanomètre en deux points du disque coupé. Je n'ai rien obtenu avec les plus fortes décharges. Cela suffit pour prouver la grande supériorité du procédé de l'aimantation. J'ai préparé un disque d'étain qui avait un diamètre quatre fois plus grand que celui de mes spirales. En soudant des fils réunis avec des spirales cylindriques dans différents points de ce disque, j'ai obtenu, avec de très-faibles décharges, une forte aimantation sur les aiguilles d'acier qui étaient introduites dans mes spirales.

Le procédé de l'aimantation mérite une étude plus approfondie. Jusqu'ici je n'ai pu obtenir des signes au galvanomètre avec la décharge d'une petite bouteille qui donne constamment un courant secondaire capable d'aimanter, comme le ferait un courant voltaïque dirigé en sens contraire du courant de la bouteille. Ce fait est constant.

Pise, (au Cabinet de Phys. de l'Université.) 10 *février* 1841.

DÉGAGEMENT CONSIDÉRABLE D'ÉLECTRICITÉ PAR L'EXPANSION DE LA VAPEUR[1].

1. *Électricité dégagée par le jet de vapeur d'une chaudière*, par H. C. Armstrong. (*Phil. Mag. novemb.* 1840.)

Le jet de vapeur de l'une des chaudières de l'usine de Sighill, située à 6 milles environ de Newcastle, a présenté un phénomène électrique très-singulier. Je m'y suis transporté, afin d'examiner attentivement soit le fait, soit les diverses circonstances qui peuvent en fournir l'explication. — La construction de la chaudière n'offre rien de remarquable; elle est supportée, comme d'ordinaire, par un massif en briques, sa forme est cylindrique, et la soupape est placée en haut; à la partie inférieure, elle a une rondelle fixée par des boulons, et pour que cette rondelle joigne hermétiquement, on introduit entre elle et la paroi de la chaudière, un ciment composé de craie, d'huile et d'étoupe. C'est par une fissure que présentait ce ciment, que la vapeur commença à s'échapper, et depuis elle a continué à sortir de même sous la forme d'un jet horizontal assez intense.

Le mécanicien ayant un jour mis accidentellement l'une de ses mains dans le jet de vapeur, tandis que l'autre était occupée à ajuster un poids au levier de la soupape, fut fort surpris de voir passer, entre le levier et sa main, une étincelle brillante, et de sentir en même temps dans ses bras une violente

[1] Nous réunissons sous ce titre divers articles qui ont paru successivement dans le *Phil. Mag.*, et dont les détails, quoiqu'ils ne soient pas tous également importants, nous ont paru cependant présenter de l'intérêt. (R.)

secousse. Le même effet se répéta lorsqu'il voulut toucher quelque autre partie de la chaudière, ou quelque partie métallique en communication directe avec elle, pourvu que son autre main fût exposée à la vapeur. Il trouva de plus, que lorsqu'il tenait l'une de ses mains dans le jet, il communiquait le choc à une autre personne qu'il touchait de l'autre main, et cela, que cette personne fût en contact avec la chaudière, ou qu'elle fût simplement placée sur la maçonnerie qui la supportait. Mais il remarqua qu'une personne qui touchait la chaudière recevait un choc beaucoup plus fort qu'une autre simplement placée sur les briques.

La chaudière avait été nettoyée le jour avant mon arrivée, et l'on avait enlevé, jusqu'à la hauteur du niveau de l'eau, une forte incrustation de matière calcaire; les indices d'électricité, quoique encore existants, avaient par suite beaucoup diminué; et pourtant ce qui en restait était extraordinaire, car, lorsque je mis une de mes mains dans le jet de vapeur, et que j'avançai l'autre jusqu'à une légère distance de la chaudière, il en partit une étincelle distincte, accompagnée d'un faible choc électrique.

D'après l'effet qu'a produit le nettoiement de la chaudière, il paraît assez probable que le phénomène dépend en grande partie, si ce n'est en entier, de l'incrustation intérieure; et quant à la raison pour laquelle on n'observe pas à l'ordinaire des effets pareils dans tous les jets de vapeur, elle semblerait provenir du fait que, dans le cas dont nous parlons, la vapeur s'échappait par une ouverture pratiquée dans une substance non conductrice, tandis que, dans la majorité des cas, la sortie a lieu au travers d'un orifice métallique. L'explosion des chaudières aurait-elle quelque relation avec la production rapide d'électricité qui paraît accompagner la formation de la vapeur? C'est ce que je n'ose décider.

Comme l'incrustation de matières salines dans la chaudière s'opère assez rapidement, je pus, une huitaine de jours après,

recommencer ces expériences avec cette nouvelle condition. Je trouvai, du reste, la chaudière et tous ses accessoires absolument dans le même état que précédemment, et en essayant la vapeur comme dans ma première visite, j'obtins à peu près les mêmes effets ; mais lorsque je me plaçai moi-même sur un tabouret isolant, l'intensité des étincelles qui passaient de ma main à la chaudière s'accrut beaucoup, de même que la sensation de tiraillement dans les jointures et dans les poignets, que j'ai appelée ci-dessus choc électrique. Je m'étais muni d'une plaque de laiton fixée à un fil de cuivre, lequel se terminait à l'autre bout par une boule de laiton. Lorsque je tenais cette plaque dans la vapeur au moyen d'un manche isolant, et que la boule de laiton était amenée à $\frac{1}{4}$ de pouce environ de la chaudière, le nombre des étincelles qui passait dans la minute était de 60 à 70, et lorsque la même boule était placée à $\frac{1}{16}$ de pouce de la chaudière, le courant d'électricité devenait continu. La distance la plus forte à laquelle l'étincelle passait de l'un à l'autre était un pouce. Un vase de verre, couvert de limaille de laiton sur ses deux faces, fut tellement chargé par ces étincelles, qu'il se fit une décharge brusque au travers du verre, et plusieurs hommes vigoureux reçurent une secousse violente d'une bouteille de Leyde chargée par le même procédé. La force des étincelles était à peu près la même, que la boule fût présentée à un corps conducteur en communication avec le sol ou à la chaudière ; on observa de même peu de différence en changeant la place de la plaque dans le jet de vapeur ; mais lorsqu'on remplaçait celle-ci par un gros fil de fer, l'effet obtenu était plus fort, si le fil était tenu très-près de l'orifice. La soupape était chargée à raison de 35 livres par pouce carré; mais la pression variait considérablement, ce qui me fournit l'occasion d'observer que la quantité d'électricité obtenue du jet de vapeur, augmente ou diminue avec la pression. L'électricité de la vapeur était *positive*, car les boules de l'électromètre, après avoir divergé, étaient attirées par un morceau de cire rouge

rotté; et lorsqu'une personne isolée sur le tabouret tenait une pointe, on voyait s'échapper un *pinceau lumineux*, et non un simple point.

Outre le jet de vapeur principal, il y en avait aussi plusieurs autres moins considérables, sortant de divers points de la chaudière, et, pour chacun, l'électromètre indiqua la présence de l'électricité. La construction particulière de la soupape de sûreté ne permettait pas d'essayer la vapeur à sa sortie naturelle. J'ai appliqué l'électromètre à feuilles d'or, à diverses parties de la chaudière (qui se trouve en communication avec le sol, au moyen de divers conducteurs), mais je n'ai pu reconnaître nulle part la moindre trace d'électricité.

La machine de Sighill a encore une autre chaudière : j'y étudiai de même divers petits jets de vapeur qui s'en échappaient en plusieurs points, et je trouvai les mêmes indices d'électricité. Je levai la soupape de sûreté, et la colonne de vapeur qui s'en échappa brusquement, se trouva aussi fortement chargée d'électricité que le jet horizontal sur lequel j'avais fait les observations précédentes.

En prenant sur les lieux diverses informations, j'appris que l'eau employée dans ces chaudières venait d'une mine voisine, d'où elle était pompée, et que la même eau était encore employée pour la chaudière d'une petite machine à haute pression. Dans le but donc de reconnaître si le phénomène en question dépend ou non de la qualité de l'eau qui se convertit en vapeur, j'examinai de la même manière la vapeur de cette chaudière qui était de moindre dimension. La soupape était chargée de 20 livres seulement par pouce carré, et l'ouvrier m'assura qu'il n'avait encore aperçu aucun signe électrique dans la vapeur qui en sortait. Cependant, lorsque j'en fis l'essai, je réussis à obtenir des étincelles distinctes. Elles étaient plus faibles que celles qui étaient produites dans l'autre chaudière; mais on peut attribuer cette différence à la pression moindre de la vapeur, et à la dimension plus petite de la chaudière.

Je visitai ensuite une autre machine à haute pression, dans laquelle la chaudière était alimentée *d'eau pure* : la pression était ici de 40 livres par pouce carré. La soupape était inaccessible, mais il fut facile d'obtenir un jet abondant en ouvrant le robinet de jauge supérieur, et pourtant je n'obtins pas la plus légère trace d'électricité, pas même à l'électroscope à feuilles d'or. Il est donc très-probable que le phénomène observé est dû, en partie, à la nature particulière de l'eau qui se réduit en vapeur.

L'incrustation qu'on avait observée dans le fond de la chaudière était grise et dure. Faraday qui l'a examinée, a trouvé qu'elle contenait des traces de chlorures et de sulfates solubles, et qu'elle se composait presque en entier de sulfate de chaux, d'un peu d'oxide de fer, et d'une matière argileuse insoluble, mécaniquement entraînée par l'eau, selon toute apparence. Elle ne renfermait que de très-légères traces de carbonate de chaux[1].

II. *Suite de la Notice qui précède.* (*Phil. Mag. décemb.* 1840.)

Ayant trouvé de l'électricité dans les trois chaudières alimentées par l'eau de la mine de charbon, et n'en ayant pas découvert la moindre trace dans celle qui était alimentée par de l'eau pure, je fus naturellement porté à conclure que les effets ob-

[1] Le dégagement d'électricité par l'évaporation, décrit par M. A., est très-probablement le même que celui qui a déjà été observé par les physiciens sur une échelle beaucoup moins considérable, et que les uns regardent comme un effet de la simple évaporation, ainsi que le dit Harris, et les autres comme un effet de l'action chimique. Ce nouveau cas ne décide pas la question; mais il nous montre le dégagement de l'électricité opéré durant la vaporisation de l'eau, sur une échelle vraiment énorme, qui nous rapproche ainsi bien davantage des phénomènes électriques qui se passent dans les éruptions volcaniques, les trombes et les orages. (*Note de M. Faraday.*)



tenus devaient être attribués à la nature particulière de l'eau qui produit la vapeur. Je m'empressai donc de visiter, dans le même district, quelques autres chaudières à haute pression, alimentées aussi d'eau de mine fortement imprégnée de chaux et d'autres substances minérales. La vapeur de ces nouvelles chaudières se trouva être aussi électrique, mais non pas au degré qu'on aurait pu l'attendre, vu l'analogie des circonstances. J'examinai ensuite plusieurs autres chaudières de la ville et des environs, desquelles la vapeur s'échappait sous des pressions variées, et provenant d'eaux de diverses natures. En m'isolant, et en tenant une verge conductrice dans la vapeur qui s'échappait de la soupape de sûreté, je réussis, dans chaque cas, à obtenir des étincelles qui variaient, pour la longueur, depuis $\frac{1}{8}$ de pouce à $\frac{1}{2}$ pouce.

Ensuite, de concert avec M. Robert Nicholson, ingénieur du chemin de fer de Newcastle et de North-Schiels, j'essayai les chaudières des locomotives employées sur ce chemin, et ayant trouvé dans quelques essais un fort dégagement d'électricité, je résolus de recommencer sur l'une d'elles une série d'expériences.

Je vais, maintenant, décrire celles de ces expériences dont les résultats ont été les plus prononcés ; je les diviserai en deux classes : les unes destinées à reconnaître l'intensité de l'électricité de la vapeur, les autres destinées à rechercher la cause du dégagement de cette électricité. Presque toutes ces expériences ont été faites de nuit, sous le hangar de la machine : l'atmosphère était ordinairement humide, et s'il arrivait qu'il en fût autrement, la quantité d'électricité dégagée du jet augmentait considérablement.

En essayant d'abord la vapeur comme dans les expériences précédentes, c'est-à-dire en me plaçant sur un tabouret isolant, et en tenant d'une main une tige légère en fer, immédiatement au-dessus de la soupape, lorsque la vapeur s'échappait librement de celle-ci, puis, avançant l'autre main vers un corps

conducteur, j'obtins des étincelles d'environ un pouce de longueur. Mais j'observai bientôt qu'en élevant la tige dans la vapeur, l'électricité augmentait graduellement, et que le maximum d'effet n'était atteint que lorsque le bout de la tige était élevé à 5 ou 6 pieds au-dessus de la soupape; alors les étincelles acquéraient quelquefois jusqu'à deux pouces de longueur. L'on obtint même de petites étincelles en éloignant la tige du jet de vapeur, et en la tenant dans l'air à deux ou trois pieds du jet. L'électricité ainsi tirée de l'air était positive, comme celle de la vapeur. Lorsque la tige était soutenue dans le nuage de vapeur qui s'accumulait vers le toit du hangar, l'électricité en était soutirée, comme celle d'un nuage par le paratonnerre.

Après avoir plongé dans la vapeur une simple tige de fer, nous employâmes d'autres conducteurs présentant une plus large surface; mais l'effet ne s'accrut que lorsqu'on munit ces conducteurs d'un certain nombre de fils de diverses longueurs, dirigés en bas. La tige de fer se terminait en boule du côté de la main, et l'on tirait de celle-ci des étincelles de quatre pouces, en aussi grand nombre qu'on pouvait les compter; un courant d'électricité passait en même temps de la tige à la partie la plus rapprochée de la cheminée de la machine. On obtenait aussi des étincelles très-visibles lorsque les pointes étaient tenues dans l'air à la distance de 8 pieds du jet.

Dans toutes les expériences précédentes, l'effet paraissait être proportionnel à la quantité de vapeur qui sortait de la soupape, toutes les autres circonstances restant les mêmes; et l'électricité devenait presque imperceptible lorsque la fuite était très-faible.

En soulevant brusquement la soupape, lorsque le hangar fut obscur, on vit les bords du levier et de la rondelle de laiton qui entoure la soupape devenir distinctement lumineux : ce phénomène ne dura qu'une seconde.

Dans la recherche de la cause de ce dégagement extraordinaire d'électricité, la première question que je me proposai fut

celle-ci : A quel endroit la vapeur commence-t-elle à devenir électrique, c'est-à-dire est-elle électrique déjà dans la chaudière ? le devient-elle en passant au travers de l'orifice, ou seulement lorsqu'elle s'échappe dans l'air ? Afin de déterminer laquelle de ces suppositions était exacte, j'employai l'appareil suivant :

Un tube de verre fut mastiqué dans une boîte à cuir, vissée sur un robinet, au haut de la chaudière ; à l'autre bout du tube fut ajusté un second robinet, puis à celui-ci un second tube dans le prolongement du premier, puis enfin un troisième robinet au haut du second tube. L'usage de cet appareil est facile à comprendre. Si la vapeur est dans le même état électrique dans la chaudière et à sa sortie dans l'air, elle communiquera nécessairement en passant de l'électricité positive au robinet du milieu. Ou bien, si la vapeur acquiert son électricité par son frottement contre les parois du canal au travers duquel elle est lancée, dans ce cas elle ne peut le faire qu'aux dépens du même robinet intermédiaire qui, étant isolé, donnera des signes d'électricité négative. Ou enfin, si l'électricité se développe par condensation, par expansion ou par quelque autre cause qui vient à agir après que la vapeur s'est échappée dans l'air ; alors le même robinet intermédiaire n'aura ni électricité positive, ni électricité négative.

Avant d'adapter le tube inférieur à la chaudière, on laissa échapper la vapeur au travers du premier robinet, très-large, et l'on trouva, contre toute attente, que le jet était privé d'électricité. Ce résultat démentait complétement la conclusion que j'avais précédemment tirée de l'expérience faite sur la chaudière alimentée d'eau pure, car dans ce cas, comme je l'ai dit, le jet provenait du robinet de la jauge.

On plaça alors le tube inférieur, et l'on obtint un jet fortement électrique, qui donna au robinet intermédiaire de l'électricité positive. Le tube supérieur fut rompu par accident, et il n'en resta que 3 pouces. Dans ces circonstances, le robinet in-

termédiaire continua à être fortement chargé d'électricité positive, et, de temps en temps, l'on vit quelques lueurs pâles s'élancer, dans l'intérieur, du robinet à la chaudière.

Ayant remplacé le tube brisé par un autre, on recommença l'expérience le jour suivant. Le jet était maintenant beaucoup plus éloigné du robinet intermédiaire ; or, dans ce cas, ce robinet ne présenta aucun signe d'électricité, tandis que celui d'en haut indiquait une forte électricité positive. Il devenait donc assez probable que l'électricité n'était pas développée avant la sortie de la vapeur dans l'air, et que le robinet supérieur devait son électricité à sa proximité du jet. Une circonstance, cependant, semblait contraire à cette supposition, savoir : que l'électricité du robinet supérieur augmentait beaucoup lorsque le robinet intermédiaire était en partie fermé, comme si l'expansion, qui, dans ce cas, a lieu dans le tube supérieur, rendait la vapeur électrique avant qu'elle gagnât le robinet qui lançait la vapeur dans l'air. Pourtant, on ne put découvrir d'électricité négative dans aucune partie de l'appareil, et comment alors expliquer qu'il s'en forme de la positive par expansion? L'explication la plus probable de cet effet semble être celle-ci : en fermant partiellement le robinet intermédiaire, on diminue la partie transparente et non conductrice du jet, et on oblige ainsi l'électricité à se communiquer plus facilement.

C'est probablement à cette accumulation d'électricité qui fut ainsi occasionnée dans le robinet supérieur, et à l'humidité inévitable de l'air environnant, que nous dûmes de voir le tube supérieur et le robinet d'en haut s'illuminer de la manière la plus remarquable. Des éclairs de lumière brillaient autour de la surface du verre, et s'étendaient jusqu'à la distance de 3 à 4 pouces, tandis que de puissants rayons de lumière électrique s'élançaient des angles du robinet ; et ces éclairs du verre étaient accompagnés d'un bruit que l'on distinguait facilement en approchant l'oreille, malgré le sifflement de la vapeur.

On enleva ensuite le tube supérieur, et, pour reconnaître en-

core d'une autre manière la présence ou l'absence de l'électricité libre dans l'intérieur de la chaudière, on introduisit, au travers du robinet intermédiaire, une pointe métallique dans la vapeur, et l'on s'arrangea pour empêcher celle-ci de sortir par ce robinet. Ce fil, étant isolé par le tube de verre, aurait dû rendre le robinet électrique, si la vapeur était électrique dans la chaudière ; mais l'on ne put, dans ces circonstances, trouver la moindre trace d'électricité.

Ayant enlevé la pointe, l'on ajusta ensuite, au robinet intermédiaire, un autre tube de verre, dont la section présentait une surface dix fois plus grande que celle du tube inférieur. Ce large tube permettait à la vapeur de prendre une très-grande expansion avant de se répandre dans l'air, et la forçait à s'y décharger, comme l'aurait fait de la vapeur à basse pression ; mais on ne put apercevoir dans le nouveau jet aucune diminution d'électricité, de sorte que le développement électrique ne paraît pas dépendre du degré de violence avec lequel la vapeur vient en contact avec l'air.

L'absence complète d'électricité négative semble empêcher d'attribuer le phénomène à l'expansion, et la seule supposition qui reste, paraît être, que la condensation qui a lieu dans le jet, met en liberté l'électricité que la vapeur a absorbée pendant sa formation. Cette supposition est d'autant plus vraisemblable, que nous avons vu plus haut que la partie la plus élevée et la plus opaque du jet donnait le plus d'électricité. Je fus pourtant d'abord porté à attribuer cette circonstance à l'humidité de la vapeur dans cette partie du jet, humidité qui le rend ainsi meilleur conducteur, et l'oblige à abandonner plus aisément son électricité. Je commençai donc de nouvelles expériences pour déterminer l'effet que produirait l'isolement de la chaudière, joint à la condensation de la vapeur en entier ; mais ces expériences ont encore besoin d'être répétées avant d'être rendues publiques. La grande difficulté est d'effectuer l'isolement au milieu d'une telle humidité; mais j'espère, avec de la persévérance, y parvenir bientôt.

III. *Expériences sur l'électricité que dégage de la vapeur à haute pression*, par H. L. PATTINSON. (*Phil. Mag. novemb.* 1840.)

L'auteur de cette note, après avoir décrit la position de la chaudière, et exposé les premiers effets observés par les ouvriers (voyez la notice précédente de Armstrong), passe aux expériences qu'il a faites lui-même. La pression était de 35 livres par pouce carré; le jour était un peu humide, et voici ce qu'il observa.

1. En touchant la chaudière avec la pointe d'un canif, et cela en quelque point que ce fût, et laissant la vapeur sortir librement, mais sans exposer aucune partie de sa personne au jet de cette vapeur, on ne put obtenir aucune étincelle.

2. En mettant une main dans le courant de vapeur, et touchant de l'autre avec le canif les mêmes places de la chaudière, on aperçut une étincelle très-petite, mais distincte.

3. En se plaçant dans le courant de vapeur, de manière à lui permettre de souffler avec force sur soi, l'étincelle devint plus forte; elle fut de $\frac{1}{8}$ de pouce de longueur.

4. En tenant d'une main une large pelle dans le courant de vapeur, et touchant de l'autre la chaudière avec un canif, l'étincelle fut de $\frac{3}{8}$ de pouce de longueur.

5. En appliquant au poids qui chargeait la soupape, le chapeau d'un électromètre à feuille d'or, dont on tenait le bas à la main, le corps de l'opérateur étant tout à fait en dehors du courant de vapeur, l'on n'observa aucune divergence.

6. En appliquant de même le chapeau de l'électromètre au poids, l'autre main étant plongée dans le courant de vapeur, on observa aussitôt une forte divergence.

Il est évident, d'après cela, que l'électricité vient de la vapeur; mais comme le bâtiment était humide, et qu'ainsi l'isole-

ment au moyen du verre ne pouvait être complet, on attacha un fil à la pelle dont nous avons parlé, et l'on fit arriver le fil jusqu'à une table placée dans une autre maison, située à quelques mètres de là. Une personne, placée sur un tabouret isolant, tenait la pelle dans le courant de vapeur, de manière que le bord fût à un pouce et demi environ de l'ouverture du jet ; le fil était tenu au moyen de quelques bâtons de cire.

7. En touchant avec le fil un électromètre à boules de sureau, dont les fils avaient 5 pouces de long, les boules divergèrent aussitôt de 4 pouces, et indiquèrent de l'électricité positive.

8. Le fil fut attaché à un conducteur en étain, isolé ; il donna alors des étincelles de demi-pouce de longueur.

9. Une pointe attachée à ce conducteur produisit un pinceau lumineux d'un quart de pouce de longueur, qui accompagna constamment le passage dans l'air de l'électricité positive.

10. Une petite bouteille fut chargée assez fortement pour donner un choc passablement vif. Un grand nombre d'ouvriers, de femmes et d'enfants, attirés par la curiosité, voulurent le ressentir; vingt d'entre eux, réunis en cercle, reçurent une secousse violente. Cette expérience fut répétée à plusieurs reprises.

11. Une carte épaisse fut percée par la décharge de la bouteille, et du coton enroulé autour de l'extrémité d'un fil de cuivre, et trempé dans de la résine en poudre, s'enflamma aussitôt.

12. Lorsqu'on rapprochait le bord de la pelle jusqu'à environ trois quarts de pouce de la surface de la chaudière, il passait une série continuelle d'étincelles vives et brillantes.

13. Une seconde chaudière présenta les mêmes phénomènes.

Durant toutes ces expériences, la machine fonctionnait comme à l'ordinaire, tantôt marchant, tantôt s'arrêtant, sans qu'il en résultât aucune différence appréciable dans l'électricité dégagée par la vapeur.

IV. *Nouvelles expériences sur l'électricité que dégage la vapeur*, par H. L. Pattinson. (*Phil. Mag. décemb.* 1840.)

Ces expériences ont été faites sur les locomotives du chemin de fer de Newcastle et Carlisle ; en voici les résultats :

On a pris une tige de cuivre de demi-pouce de diamètre, 5 pieds de long et creuse, pour qu'elle fût plus légère ; cette tige était terminée, à l'une de ses extrémités, par une boule de 2 pouces, et à l'autre (qui était courbée à angle droit) par dix ou douze fils métalliques à pointe aiguë, fixés très-près les uns des autres, et qui, réunis, formaient un cône dont le sommet partait de la tige. Ces fils étaient destinés à recueillir d'une manière plus complète l'électricité de la vapeur.

La locomotive nommée *Wellington*, fut employée pour ses essais aussitôt après son arrivée. A ce moment la vapeur sortait avec grande force de la soupape de sûreté ; la pression était de 52 livres par pouce. En plaçant le conducteur à pointes dans ce courant de vapeur, les extrémités dirigées en bas, et se tenant isolé sur le tabouret, on put tirer de la chaudière des étincelles de 3 pouces. Les étincelles étaient très-longues lorsqu'on tenait la soupape fermée durant une minute ou deux, et qu'ensuite on la soulevait brusquement, de manière à permettre à la vapeur de s'échapper sous un large volume, et avec beaucoup de rapidité ; elles avaient souvent alors 4 pouces de longueur. La distance du conducteur à la soupape qui était la plus favorable, était de 2 pieds ; cependant on obtint de fortes étincelles en le tenant beaucoup plus haut; on en eut même en le tenant tout à fait en dehors du nuage de vapeur, tant l'air du hangar était chargé d'électricité positive.

On diminua ensuite graduellement la tension de la vapeur, pour observer de quelle manière l'électricité varierait avec cette tension. A 40 livres par pouce, les étincelles devinrent beau-

coup plus petites : les plus longues n'avaient que 3 pouces ; à 20 livres, elles n'avaient qu'un pouce ; à 10 livres, pas plus d'un quart à demi-pouce ; et à 5 livres par pouce carré, l'étincelle était presque imperceptible. Mais à toute pression, si la soupape, après avoir été tenue fermée durant quelques minutes afin d'accumuler la vapeur, était ouverte subitement, on observait toujours un accroissement des effets électriques durant un instant.

On essaya ensuite de la même manière la vapeur d'une autre locomotive, *l'Eclair*, qui venait d'arriver et dans laquelle la vapeur sortait à une pression de 50 livres par pouce. En tenant le conducteur à pointes dans la vapeur, que la fuite de celle-ci fût ordinaire ou accélérée, enfermant momentanément la soupape, on ne put pas obtenir des étincelles de plus d'un quart de pouce. On fit alors écouler une partie de l'eau de la chaudière, de telle manière, que celle-ci ne fît que couvrir les tubes intérieurs; puis en essayant alors la vapeur qui s'échappait toujours sous la pression de 50 livres par pouce, on obtint des étincelles de 2 pouces. La vapeur de cette seconde locomotive était donc décidément, à tous égards, beaucoup moins électrique que celle de la première.

On essaya aussi le courant de vapeur mêlé d'eau, tel qu'il était sorti de la chaudière dans l'expérience précédente, mais on ne put y reconnaître aucune trace d'électricité.

On employa aussi une autre espèce de conducteur, en forme de tronc de cône creux, en zinc, entrelacé de fil de cuivre à l'intérieur, et muni d'un très-grand nombre de pointes. Ce cône avait 3 pieds de haut, et 3 pieds de diamètre à la base. En essayant ce nouveau conducteur à la vapeur du *Wellington*, nous fûmes tous étonnés de voir qu'il ne donnait pas de plus longues étincelles que le petit conducteur à pointe dont nous nous étions servis auparavant. L'étincelle était plus volumineuse, mais guère plus intense. Sa longueur n'était que de 2 pouces, mais elle était plus pénible à recevoir. Nous aurions voulu déterminer

la charge qu'auraient pu prendre quelques jarres, afin de nous former une idée de la quantité d'électricité dégagée; mais la soirée était devenue très-humide, l'air était tellement humecté que nous ne pouvions avoir un isolement suffisant, et nous dûmes, à regret, abandonner ces essais.

Lorsqu'on tenait le large conducteur dans le nuage de vapeur (la pointe du cône tournée en bas et à deux pieds de la soupape), il donnait des étincelles vives et nombreuses; mais, si en même temps les pointes du petit conducteur étaient tenues par une autre personne non isolée, au-dessous du gros, à un pied environ de la soupape, l'électricité dégagée par ce dernier diminuait beaucoup.

Au moyen de quelques crics on souleva la locomotive, et on la plaça sur de larges blocs de bois séché, afin de l'isoler ainsi entièrement. La vapeur s'échappant alors de la soupape, la chaudière et la machine devinrent fortement électriques et chargées d'électricité négative. Au même moment la vapeur était fortement positive.

Je répétai aussi l'expérience connue de Volta : je plaçai un charbon chaud sur le chapeau d'un électromètre à feuilles d'or, puis je versai dessus quelques gouttes d'eau ; les lames divergèrent aussitôt fortement, et indiquèrent de l'électricité négative. J'observai que quand les charbons sont très-chauds, et par conséquent la production de la vapeur très-rapide, l'électricité dégagée était toujours très-considérable.

J'isolai aussi une bassine en fer, de 12 pouces de diamètre et de 2 pouces de profondeur, et y fixai un électromètre à boules de sureau : chaque boule avait $\frac{3}{8}$ de pouce de diamètre, et les fils 5 pouces de longueur; je fixai aussi à la bassine un fil métallique, dont la pointe était placée à $\frac{1}{20}$ de pouce de celle d'un autre fil communiquant avec le sol. Je remplis alors la bassine de charbons bien rouges, tirés d'un fourneau à vent, et en jetant dessus quelques onces d'eau, il se dégagea de la vapeur en grande quantité; au même instant, les boules de sureau

divergèrent jusqu'à la distance d'un pouce, et l'on vit des étincelles passer entre les fils métalliques. Ce genre d'essai fut répété plusieurs fois.

Ces expériences diverses nous donnent, il me semble, l'explication du phénomène électrique que présente la vapeur. Il n'y a pas le moindre doute, comme Faraday l'observe en note à l'occasion du mémoire de M. Armstrong, « que ce dégagement d'électricité par vaporisation est le même que celui dont les physiciens avaient connaissance sur une échelle beaucoup moins étendue. » L'électricité paraît naître à l'instant de la vaporisation. La vapeur, à mesure qu'elle se forme dans la chaudière, prend l'électricité positive, tandis que l'eau et la chaudière métallique deviennent négatives. Dans cet état, l'électricité de chaque partie est latente, comme l'électricité des deux plateaux d'un électrophore frotté ; mais dès que la vapeur peut s'échapper, son électricité positive étant emportée avec elle, et se trouvant alors hors de l'influence de la négative équivalente de la chaudière, devient libre, et c'est ce qui fait que la vapeur donne de l'électricité positive. La même chose a lieu pour la chaudière : l'électricité négative y devient libre à mesure que la vapeur s'échappe, et elle devient visible lorsqu'on l'isole convenablement.

Lorsqu'on laisse échapper de la vapeur mêlée d'eau, ou comme les ouvriers l'appellent, de la vapeur humide, elle ne peut pas être fortement électrique, car l'eau qui est négative tend à neutraliser la vapeur positive; et ce fait peut, jusqu'à un certain point, expliquer l'accroissement d'effet obtenu dans *l'Eclair*, lorsqu'on abaissait le niveau de l'eau dans la chaudière, ainsi que l'augmentation observée dans chaque chaudière, lorsqu'on retenait la soupape fermée durant quelques instants, puis qu'on l'ouvrait brusquement ; mais cette explication ne rend pourtant pas *entièrement* compte de ces variations d'intensité, non plus que de la différence d'intensité observée sous la même pression dans diverses chaudières. Il est donc probable que l'action chi-

mique, entre le métal de la chaudière et l'eau, exalte l'état électrique de la vapeur au moment où elle est formée ; mais cette partie du sujet demande encore de nouvelles recherches. Parmi tous les effets, les plus énergiques qu'on ait obtenus jusqu'ici sont ceux qui sont fournis par les locomotives dans lesquelles l'eau est chauffée par des tubes en cuivre ; l'expérience déterminera si cette circonstance a quelque influence sur la production de l'électricité. Dans tous les cas, c'est un fait bien curieux, que de voir les machines locomotives transformées en énormes machines électriques, machines dans lesquelles la vapeur joue le rôle du plateau de verre d'une machine ordinaire, la chaudière, celui des coussins ; de telle sorte, qu'un conducteur, convenablement exposé à l'action de la vapeur, donne des torrents d'électricité.

V. *Électricité de la vapeur ;* par ARMSTRONG. (*Phil. Mag.* janvier 1841.)

Pour continuer l'étude de ce curieux phénomène, l'auteur a isolé la locomotive au moyen de gros billots de bois sec et bien goudronné ; il a observé alors que, tant que la vapeur est renfermée dans la chaudière, la machine n'indique point d'électricité, et qu'au contraire, dès que la vapeur s'échappe, la machine donne des signes d'électricité négative. Il a recherché si le développement d'électricité dépendait de la densité de la vapeur dans la chaudière ; le poids de la vapeur lancé dans un temps donné étant maintenu aussi uniforme que possible, l'électricité négative de la chaudière augmente faiblement avec la pression, tandis que la positive, tirée de la vapeur par le conducteur pointu, croît énormément avec l'accroissement de densité. Lorsque le feu eut été éteint, et que la pression ne fut plus que de 6 à 8 livres par pouce carré, on n'obtint plus d'étincelle du jet de vapeur, mais l'électricité négative de la chau-

dière continua jusqu'à ce que toute la vapeur fût épuisée. Ces résultats semblent indiquer qu'un jet de vapeur à haute pression n'est pas en réalité beaucoup plus électrique qu'un jet de vapeur à basse pression, mais seulement que l'électricité de haute pression est plus facile à recueillir. L'isolement de la chaudière a certainement diminué la quantité d'électricité positive, mais pas autant qu'on aurait pu le présumer.

M. Armstrong a aussi étudié l'état électrique de la vapeur avant qu'elle s'échappe dans l'air, que la chaudière fût isolée ou qu'elle ne le fût pas, et, dans ce dernier cas, il a remarqué qu'il y avait plus d'électricité positive dégagée lorsque le robinet qui donnait passage à la vapeur était en partie fermé; cela vient probablement de ce que l'humidité de la vapeur est alors moins considérable que lorsqu'il est tout ouvert, et que, dans ce dernier cas, elle reconduit à la chaudière une grande partie de l'électricité.

Entre autres expériences, l'auteur a surmonté le robinet d'un tube de verre, au bas duquel étaient fixées un grand nombre de pointes métalliques, afin de séparer et de communiquer au robinet toute l'électricité que la vapeur pourrait posséder en entrant dans le tube. Lorsque ensuite on a ouvert le passage en entier, des éclairs lumineux ont brillé tout le long du tube, depuis le nuage de vapeur jusqu'au robinet, et cela constamment, que la chaudière fût isolée ou qu'elle ne le fût pas. La vapeur qui passait dans le tube était parfaitement transparente, et aucune humidité n'était déposée sur le verre. — La transmission de l'électricité du jet au robinet prouve nettement que l'électricité positive que nous trouvons dans le jet ne se développe que lorsque la vapeur prend une forme visible; et, de plus, que dans son état de transparence, la vapeur conduit assez bien l'électricité.

Voici maintenant comment l'auteur propose d'expliquer les divers phénomènes de l'électricité de la vapeur. Il admet comme un fait que la vapeur est à l'état neutre dans la chau-

dière, et que, même après en être sortie, elle ne donne pas d'électricité positive, tant qu'elle garde sa nature aériforme. L'expérience démontre que l'émission de la vapeur est accompagnée d'un développement d'électricité négative dans la chaudière, et puisque celui-ci est indépendant de la condensation subséquente de la vapeur, il s'ensuit que, si la sortie de la vapeur pouvait s'effectuer sans qu'il se fît aucune condensation, on aurait un dégagement de l'électricité négative dans la chaudière, sans qu'il y en eût un autre simultané de positive; et de même, si la vapeur lancée était de suite condensée en eau, on aurait un dégagement d'électricité positive sans avoir en même temps de la négative.

Ces conclusions sont, il est vrai, incompatibles avec la théorie des deux fluides électriques, mais elles se conçoivent très-bien dans celle d'un seul fluide. Il est, en effet, très-rationnel de supposer que l'immense augmentation de volume qui a lieu lorsque l'eau se dilate en se réduisant en vapeur, augmente aussi beaucoup sa capacité pour l'électricité, et qu'ainsi la quantité d'électricité qui suffit pour produire dans l'eau un état neutre ou saturé, soit incapable de satisfaire à cette condition lorsque l'eau est réduite en vapeur. D'après cette supposition, la vapeur, à mesure qu'elle se forme dans la chaudière, absorbera l'électricité des conducteurs voisins, pour acquérir l'état neutre ou saturé; et lorsque, par la condensation, cette vapeur repassera à l'état d'eau, l'électricité ainsi absorbée deviendra nécessairement libre; de là l'électricité positive que nous trouvons dans le jet. — D'après le même principe, si la chaudière est isolée, l'eau, la chaudière et la vapeur non condensée seront toutes négatives, pourvu que la vapeur puisse s'échapper, mais pas autrement; car si la vapeur est retenue dans la chaudière, l'évaporation ne sera accompagnée d'aucun accroissement de volume, et l'absorption de l'électricité n'aura donc pas lieu. Sur tous ces points, la théorie est exactement d'accord avec l'expérience.

VI. *Expériences de* M. SCHAFTHÆUTL *sur le développement de l'électricité positive par la vapeur.* (*Phil. Mag.* février et avril 1841.)

L'auteur avait déjà inséré dans les numéros de novembre et de janvier derniers du *Phil. Mag.* quelques recherches dont les résultats étaient analogues à ceux qu'avait obtenus M. Armstrong. Ayant eu l'occasion dès lors de savoir que la vapeur qui sort sous la pression de 40 atmosphères des chaudières Perkins, donnait à peine quelques signes appréciables d'électricité, il a entrepris quelques expériences en vue d'examiner si cet effet négatif ne serait point dû à l'absence de dépôt ou d'incrustation.

La chaudière Perkins est, en effet, construite en vue d'empêcher toute espèce d'incrustation de se former ; aussi l'auteur se servit pour opérer d'une sphère creuse en fer, de 5 pouces de diamètre, contenant un peu de mercure dans lequel plongeait un tube destiné à servir de manomètre. La surface supérieure de la sphère était encore traversée par un thermomètre dont la boule plongeait dans l'intérieur, et portait d'autre part un robinet destiné à donner issue à la vapeur formée intérieurement.

Au-dessus du mercure qui garnissait le fond de la sphère, on avait mis une couche d'eau distillée de $1\frac{1}{4}$ p^ce^ d'épaisseur. Enfin, dans la direction du jet de vapeur, à une distance de l'orifice du robinet de 9 pouces environ, on avait suspendu une cloche en verre de 9 pouces de diamètre et de 5 pouces de profondeur, dans laquelle aboutissaient les extrémités de deux fils de cuivre qui communiquaient d'autre part avec le plateau d'un condensateur. — L'eau ayant été mise en ébullition dans l'appareil, on ouvrit le robinet quand le manomètre indiqua un excès de pression de 31 pouces (anglais) ; aussitôt la vapeur se précipita dans la cloche où, en se condensant, elle développa assez d'électricité positive pour faire diverger après quelques

secondes la feuille d'or de l'électroscope condensateur. Ce phénomène avait encore lieu quand la pression en excès de la vapeur était réduite à 23 pouces.

Sous la même pression, la vapeur dirigée contre les fils de cuivre sur l'extrémité de la cloche de verre, ne produisait aucun effet. On enleva ensuite l'eau distillée qui avait pris une couleur rougeâtre, par l'effet de l'hydrate d'oxide de fer qu'elle avait dissous, et on la remplaça par une dissolution de sel ordinaire. On répéta avec l'eau distillée les mêmes expériences qu'on avait d'abord faites, et on n'obtint pas la moindre trace d'électricité.

On remit ensuite de l'eau distillée dans l'intérieur de l'appareil après l'avoir lavé avec beaucoup de soin, on refit les premières expériences, et on ne put avoir aucune trace d'électricité; mais, après avoir pris la précaution de mettre dans l'appareil exactement la même quantité d'eau qu'on avait mise en commençant, on obtint les mêmes résultats.

Le succès de l'expérience paraissait dépendre essentiellement de la quantité d'eau très-divisée qu'entraînait la vapeur avec elle, et qu'elle déposait en grande abondance, en même temps qu'elle s'y condensait, sur les parois de la cloche de verre contre laquelle elle se portait. Un bruit particulier, que faisait la vapeur en s'échappant, indiquait si cette circonstance favorable avait lieu.

Différents essais ont montré que, dans les circonstances où l'auteur a opéré, il ne suffit pas, pour dégager de l'électricité, que la vapeur se condense en forme de brouillard, mais qu'il faut qu'elle devienne eau liquide. Cette différence paraîtrait expliquer pourquoi certains nuages qui sont seulement composés de vapeurs vésiculaires, ne paraissent pas être aussi électriques que ceux qui sont accompagnés d'une précipitation d'eau considérable.

L'auteur, en continuant ses expériences, a trouvé qu'il pouvait se passer des fils de cuivre qui font communiquer l'élec-

troscope avec l'intérieur de la cloche où se condense la vapeur. Il reçoit seulement la vapeur dans la cloche, puis y transporte l'électroscope dont les feuilles divergent aussitôt; en répétant cette opération plusieurs fois, on peut finir par obtenir une étincelle.

En faisant l'expérience dans les mêmes circonstances que dans le cas où il opérait avec de l'eau distillée, Mr S. s'est assuré qu'avec une dissolution de sel ordinaire ou de sulfate de chaux, l'électricité est produite de la même manière, et en même quantité. — Si les circonstances de l'expérience ne sont pas exactement les mêmes, l'effet est nul, comme cela a été déjà remarqué plus haut, à l'occasion de l'emploi d'une dissolution saline.

M. S. conclut de ses recherches que l'électricité positive qui devient libre, ne peut être attribuée qu'à la condensation soudaine de la vapeur et à la séparation de l'eau formée, phénomènes qui ont lieu au moment où la vapeur vient en contact avec la surface intérieure de la cloche, surface dont la grandeur influe notablement sur la quantité d'électricité qui est développée. Sur une plus grande échelle, l'air dans lequel se forme un nuage de vapeur, joue dans le voisinage d'une machine à vapeur, le même rôle que la cloche. Dans une violente tempête les courants d'air, lorsqu'ils pénètrent dans le centre d'un nuage qui commence à se former, déterminent également la condensation soudaine de la vapeur et la séparation de l'eau liquide, qu'on remarque dans le jet de vapeur qui sort du vase où elle est comprimée, en faisant le bruit particulier dont il a été question.

Tous ces effets sont bien dus, suivant l'auteur, à l'électricité que dégage la formation et la condensation de la vapeur, source d'électricité si faible, qu'il faut beaucoup de soin pour en démontrer l'existence. Les actions chimiques qui ont lieu en même temps que la vaporisation, peuvent bien influer sur l'électricité qui est produite, mais tel n'a pas été le cas dans les expériences qui précèdent.

Enfin Mr S. termine en remarquant que l'électricité négative qui correspond à la positive, dont la vapeur condensée est chargée, se trouve dans le vase métallique où la vapeur se forme, et dans l'eau que renferme ce vase.

Dans un second article, M. Schafthæutl ajoute quelques observations à celles dont nous venons de donner le résumé. Nous les transcrirons textuellement :

« En répétant les expériences décrites dans le numéro de février du *Philosophical Magazine*, expériences pendant lesquelles je recevais dans une cloche de verre le jet de vapeur humide, il arrivait souvent que l'eau qui découlait des bords de la cloche, tombait d'une manière continue, et servait de conducteur à l'électricité qui était développée.

« Pour obvier à cet inconvénient, je substituai au tuyau métallique (dont l'ouverture ne doit jamais être moindre qu'un seizième de pouce en diamètre), un tube flexible en cuir d'environ dix pouces de long, et recourbé en bas d'un angle d'environ 80°. Après cet arrangement, je pus placer la cloche de verre avec son orifice tourné en haut ; elle reposait sur une torche placée sur la table ; elle était sous l'ouverture du jet, et elle servait non-seulement à recevoir la vapeur, mais à contenir l'eau qui en provenait.

« Cette disposition pare à une objection qu'on aurait pu faire à mes précédentes expériences, savoir, que l'électricité observée pourrait provenir du frottement de l'eau excessivement divisée contre les parois de la cloche de verre.

« Maintenant on voit que le développement de l'électricité est le même, soit que le jet de vapeur frappe contre le verre, soit qu'il touche seulement la surface de l'eau qui s'est condensée dans le fond de la cloche pendant la durée des expériences ; la distance entre le jet et la cloche ou la surface de l'eau n'exerce non plus aucune influence sur la quantité d'électricité dégagée ; preuve non-seulement que l'électricité ne peut être attribuée au frottement, mais aussi qu'une couche d'eau exerce

relativement à la vapeur humide le même pouvoir condensateur qu'une surface solide de verre.

« Le fait, que l'intérieur de la cloche de verre, lorsqu'il a été déchargé, commence faiblement, mais souvent à plusieurs reprises, à se charger de nouveau après que la vapeur a cessé de jaillir ; ce fait, dis-je, ne permet pas non plus d'attribuer ce phénomène au frottement. Mais peut-être pourrait-on attribuer l'électricité observée dans ce dernier cas, simplement à ce que l'évaporation continue jusqu'à un certain point dans la cloche, quelque temps après que le jet a cessé. Pour savoir si les choses se passent ainsi, je versai à plusieurs reprises de l'eau bouillante dans la cloche, et j'y plaçai ensuite l'électroscope ; mais ni l'eau ni la vapeur qui s'en élevait, ne donnèrent le moindre indice d'électricité. Il paraît donc que la vapeur qui prend le calorique nécessaire pour sa formation à l'eau de laquelle elle se sépare, ne développe aucune électricité.

« La température du laboratoire, pendant ces expériences, était de 45° F. (9° C.). La température du jet de vapeur à $\frac{1}{8}$ de pouce de l'orifice d'où elle s'échappait, était de 150° (65 à 66° C.); à trois pouces de l'orifice elle était de 120° (49° C.). Dans la cloche elle était descendue à 110° (43° C.) ; l'eau condensée dans le fond de la cloche avait 100° (37° à 38° C.), et la vapeur qui s'en élevait n'indiquait une température que de 60° à 70° (16° à 22° C.).

« La température de la vapeur et de l'eau dans la chaudière était, il va sans dire, d'environ 253° F. (123° C.), sous une pression de 32 pouces. Après avoir ouvert le robinet, l'eau délivrée en partie de la pression passa jusqu'à ce que le robinet fût fermé de nouveau à une pression d'environ 23 pouces, et 62,3 pour 100 de volume en vapeur convertirent la masse d'eau en une agglomération de bulles, qui, mêlées avec la vapeur de la portion supérieure de la chaudière, s'échappaient avec elle au travers du tube métallique. Pendant l'expansion de la vapeur dans l'air, son calorique libre devint latent, et fut

immédiatement remplacé par le calorique libre de l'eau très-divisée, mêlée avec la vapeur, de sorte que ce jet de vapeur se maintint nécessairement, malgré son expansion, à une température bien plus élevée que n'aurait été celle de la simple vapeur sans mélange d'eau, qui se serait échappée sous une pression égale. Ce plus haut degré de chaleur que possède la vapeur mouillée, peut être une des causes qui font que l'eau qui est mêlée avec elle est dans un état tel, qu'elle s'en sépare facilement et instantanément dès que la vapeur qui la renferme frappe contre un milieu condenseur tel que le verre, l'eau, ou même l'air; or c'est à ce moment même que l'électricité commence à se développer......... »

L'auteur termine cette notice par quelques considérations sur l'état de l'eau dans son mélange avec la vapeur dans l'air. Il discute l'opinion de de Saussure sur la nature de la vapeur vésiculaire, opinion vers laquelle il penche, et celle de Fresnel sur la suspension des nuages, qui ne s'accorde pas avec la théorie de de Saussure; enfin il rappelle l'idée de Saigey, qui consiste à croire que l'équilibre des nuages n'est qu'apparent, et que les petits globules d'eau qui composent un nuage, tombent constamment dans la couche d'air inférieure, où ils passent à l'état de vapeur, et sont remplacés dans le nuage par d'autres semblables, qui proviennent de la condensation de la vapeur ambiante.

Nous ne nous arrêterons pas sur ce genre de considérations, qui ne présente rien de bien nouveau, et qui est d'ailleurs, jusqu'à un certain point, étranger à notre sujet.

VII. *De l'électricité de la vapeur*, par J. Williams. (*Phil. Mag.*, février 1841.)

L'auteur, vivement préoccupé des expériences de M. Armstrong sur l'électricité qui provient d'un jet de vapeur, rap-

pelle quelques expériences qu'il avait faites précédemment sur ce sujet, et qu'il avait consignées dans son journal d'observations.

Il avait été frappé de voir par un temps froid, qui permettait à la vapeur qui s'échappait d'une locomotive de devenir visible, avec quelle rapidité les particules de cette vapeur divergeaient et semblaient se repousser mutuellement. Il avait attribué cette répulsion à leur état électrique. Enfin il s'était assuré, en novembre 1838, qu'en isolant le vase où se forme la vapeur, ce vase se constitue à l'état négatif d'une manière prononcée, quand on donne issue dans l'air libre à la vapeur qui s'y est formée sous une forte pression.

Il avait remarqué qu'un fourneau isolé se constitue à l'état négatif quand le charbon y brûle avec une forte flamme, mais que l'électricité est beaucoup plus forte quand, après y avoir ajouté de nouveau combustible, une fumée épaisse s'élève quelques secondes avant que la flamme se montre. Cette dernière expérience paraît à M. Williams avoir quelque analogie avec ce qui se passe dans les éruptions volcaniques.

VIII. *De l'électricité que développe l'air en se dilatant, comparée avec celle que dégage la vapeur dans les mêmes circonstances*, par W. G. Armstrong. (*Phil. Mag.* février 1841.)

Il m'a paru utile de rechercher si les effets que j'ai décrits dans mes expériences sur l'électricité de la vapeur, ne pourraient point être produits en donnant à l'air, comprimé d'abord dans un récipient, un essor soudain et semblable à celui qu'éprouve la vapeur quand elle sort de son générateur. Je condensai de l'air sous la pression d'environ huit atmosphères dans un vase très-fort, de la contenance d'à peu près six quarts [1].

[1] Un quart vaut 1,136 litre; six quarts font donc un peu moins de 7 litres (6,8 litres).

J'isolai alors le vase, et je donnai issue à l'air au travers d'un tube en verre, que j'avais préalablement disposé dans ce but.

Au premier essai je n'obtins aucun indice quelconque d'électricité, mais en répétant les expériences un autre jour, le vase isolé devint si fortement électrisé lorsque l'air fut sorti, qu'il fournit des étincelles d'un quart de pouce de long. Je répétai plus tard cette expérience un grand nombre de fois, et, chose étrange, l'électricité du vase, quoique *négative* le plus souvent, se montra aussi quelquefois *positive*. Quelquefois l'électricité était très-forte, d'autres fois très-faible, et souvent je n'en obtenais point du tout. Je déterminai l'électricité de l'air émis au moyen d'un conducteur isolé terminé par plusieurs pointes, et je la trouvai toujours *positive*.

Je réussissais mieux à produire un développement d'électricité lorsque le temps était froid et légèrement humide, que lorsqu'il était chaud et sec ; il ne paraîtrait donc pas improbable que l'évaporation fût, même dans ce cas, l'origine de l'électricité développée. Je ne suis pas sûr toutefois que le plus de succès que j'ai obtenu à une époque qu'à l'autre, ne soit pas dû au hasard, et je ne fais mention de cette circonstance que pour la recommander à l'attention des personnes qui s'occuperaient de ce sujet.

IX. *Observations de* M. Peltier *sur les premières expériences de* MM. Armstrong et Pattinson. (*Annales de Chimie et de Physique*, novembre 1840.)

Mes recherches expérimentales et météorologiques m'ayant fait étudier les circonstances qui donnent de l'électricité aux vapeurs, je puis ajouter quelques faits propres à donner l'explication du phénomène de Cramlington.

Lorsqu'on fait rougir un morceau de platine épais, légèrement embouti, et qu'on verse de l'eau dessus, on connaît une partie des phénomènes qui ont lieu ; aussi ne ferai-je que les

indiquer, quoique la véritable explication de ces mouvements n'ait pas encore été donnée, suivant moi. Je me réserve de revenir sur ce sujet une autre fois.

Si le fond, sur lequel repose la goutte d'eau, est plat ou très-peu embouti, elle prend la figure d'une ellipse, comme l'a très-bien observé M. Auguste Laurent (*Annales de Chimie et de Physique*, t. LXII, p. 327). Cette ellipse revenant sur elle-même, il s'en forme une autre qui lui est perpendiculaire : celle-ci se déprimant à son tour, la première reparaît, et ainsi de suite. Après quelques instants l'élongation des ellipses diminue ; mais alors elles se multiplient : il s'en forme à 45 degrés des premières, ce qui en fait quatre, marchant deux à deux. La température diminuant, les saillies s'affaiblissent ; un plus grand nombre surgissent, mais petites, ne possédant plus de mouvements réguliers et successifs. Ces mouvements tumultueux se résolvent en un mouvement giratoire qui a son axe vertical et autour duquel on voit une couronne crénelée, restes des élongations ellipsoïdales qui s'éteignent. Un peu plus tard ce mouvement diminue de vitesse, puis il s'arrête, et la goutte paraît en repos et reflète vivement la lumière. La forme des mouvements d'ensemble de ces élongations, est en partie produite par les résistances extérieures, dépendantes elles-mêmes de la courbure du creuset, et de la grosseur de la goutte projetée.

En examinant la goutte d'eau avec une loupe pendant la rotation, on voit qu'il y a dans l'intérieur des mouvements de plusieurs espèces. Lorsque la rotation s'arrête, il y a une seconde d'incertitude dans la résultante qui doit naître des mouvements intérieurs ; il se produit ensuite une autre rotation dont l'axe est horizontal, et qui laisse la superficie parfaitement unie. Ce mouvement d'ensemble dure peu ; plusieurs autres s'établissent dans l'intérieur, on les voit se heurter, s'imprimer des sens différents, se coordonner encore pour se rediviser ensuite. Enfin le mouvement se ralentit : la goutte, qui jusque-là était restée globulisée et n'avait pas mouillé le platine, s'aplatit, le

mouille, et se vaporise tout à la fois, sans qu'il y ait d'électricité produite, si l'on s'est servi d'eau distillée et d'un creuset propre.

Au lieu d'eau pure, si l'on met une dissolution peu saturée de sel marin, l'effet sera le même la première fois; mais le sel, abandonné par l'eau, formant une couche légère sur le platine, est repris par l'eau de l'expérience suivante : il rend cette eau plus saturée, et, lorsque la goutte est diminuée des deux tiers, elle est devenue presque opaque, on voit une multitude de petits corps nager dans l'intérieur, et bientôt après on entend quelques décrépitations accompagnées de projections salines. A ce moment l'aiguille de l'électromètre indique une tension négative. Si le platine s'est assez refroidi pour permettre le mouillage, la décrépitation cesse, la goutte s'étend, et elle est sur-le-champ transformée en vapeur; l'électricité qui venait d'être développée pendant la décrépitation, au lieu d'être doublée par cette subite vaporisation, disparaît avec la vapeur qui l'entraîne. La couche saline étant augmentée, l'effet, à la troisième expérience, est plus grand; la décrépitation y est plus forte, et l'aiguille est projetée au loin. Ainsi, avant et après la décrépitation, il n'y a plus d'électricité produite; l'instrument reste muet, quelle que soit la quantité de vapeur produite.

D'après l'observation précédente, il était naturel de penser que le sel, remplaçant l'eau salée, produirait le même effet; c'est ce que l'expérience a confirmé. Le chlorure de sodium décrépitant sans fusion aqueuse, l'eau interposée joue le rôle de dissolution saturée et fait marcher l'aiguille de l'électromètre. Si c'est un sel contenant de l'eau de cristallisation, comme le nitrate d'ammoniaque si facile à décomposer, il y a d'abord la fusion aqueuse, une grande évaporation sans produire d'électricité, puis enfin arrive la décrépitation, et l'aiguille est fortement projetée par l'électricité négative.

C'est donc au moment de la séparation des molécules d'eau combinées que l'électricité est produite, c'est au moment qu'une

décomposition chimique a lieu et non pendant la séparation de l'eau surabondante. On voit facilement l'application de ces expériences au fait de Cramlington : on sait, d'après les relations, qu'il a fallu une eau saturée au point d'avoir un dépôt formé sur la paroi de la chaudière; qu'il faut une haute température, puisque la machine est à haute pression ; que l'électricité croît avec le dépôt, et qu'elle varie avec la température.

Ce phénomène ne paraissant que lorsqu'il y a une couche saline déposée, et sa tension augmentant avec l'épaisseur de cette couche, il pourra faire connaître le degré d'incrustation des parois intérieures, et les variations subites de température [1].

X. *Quelques réflexions sur les articles qui précèdent.*

Les recherches que nous venons de faire connaître avec détail à nos lecteurs, ne nous paraissent pas encore bien concluantes pour trancher la question : la vaporisation de l'eau est-elle par elle-même, et indépendamment de toute autre cause, une source d'électricité? Nous ne nierons pas que plusieurs des expériences que nous avons rapportées ne paraissent être favorables à cette opinion, et qu'à cet égard la question ne semble avoir fait quelques pas vers une solution affirmative. Toutefois

[1] Il résulte d'une communication faite par M. Peltier le 2 janvier 1841 à la Société Philomatique, depuis la publication de la notice qui précède, que de l'électricité peut être développée dans des circonstances un peu différentes de celles qu'il a indiquées dans cette notice. Il dit en effet avoir remarqué que lorsqu'on lâche de la vapeur provenant de l'eau distillée, fermée dans un vase en cuivre, et ayant une tension de plusieurs atmosphères, cette vapeur est *positive*, et le vase *négatif*. Si la vapeur a une faible tension, et qu'elle mouille en sortant, on ne recueille plus d'électricité. La qualité de l'eau, la pression, la forme et la matière de l'ajutage formant l'orifice, font varier la tension et la nature de l'électricité. M. Peltier annonce avoir étudié séparément ces diverses circonstances, mais il n'a encore rien publié de plus à cet égard. (R.)

le sujet est loin d'être encore complétement éclairci ; nous nous proposons d'y revenir incessamment, et de rappeler, en les discutant, les premières expériences vraiment exactes qui aient été faites sur le dégagement de l'électricité dans la vaporisation des liquides ; nous voulons parler des belles expériences de de Saussure. En attendant, nous avons cru être agréables aux personnes qui s'intéressent à l'étude de l'électricité, en leur faisant connaître tout ce qui a été fait récemment sur le sujet spécial dont nous venons de les entretenir. (R.)

NOUVELLES RECHERCHES SUR LES PROPRIÉTÉS DES COURANTS ÉLECTRIQUES DISCONTINUS ET DIRIGÉS ALTERNATIVEMENT EN SENS CONTRAIRES, par M. le Professeur A. DE LA RIVE. [1]

Je publiai il y a trois ans, dans les Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève, des *Recherches sur les propriétés des courants magnéto-électriques*. Je pris dans ce mémoire l'engagement de faire une étude plus approfondie de certains points, et d'analyser, mieux que je n'avais pu le faire dans ce premier essai, la cause de quelques-uns des phénomènes que j'avais décrits. Je n'ai point perdu de vue cet

[1] Le mémoire que j'imprime aujourd'hui vient de paraître également dans la première partie du tome IX des *Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève*, sous le titre de *Quelques phénomènes chimiques qui se manifestent sous l'action des courants électriques développés par induction.* J'y ai fait seulement quelques additions et quelques changements de forme ; j'en ai aussi retranché toute une partie que je compte imprimer dans le prochain numéro des *Archives de l'Electricité*, avec des développements plus considérables que ceux que je lui ai donnés dans le Mémoire que je viens de rappeler.

engagement, et je tiens d'autant plus à le remplir, que mon précédent travail a été l'objet de quelques observations critiques de la part d'un savant allemand, M. Lenz, observations auxquelles je désire répondre. — Le titre seul que je donne au mémoire que je publie aujourd'hui est déjà une réponse, car une des objections les plus importantes que m'ait faites M. Lenz, c'est, comme on le verra, d'avoir désigné les courants dont j'ai fait usage, sous le nom de *courants magnéto-électriques*, et d'avoir ainsi paru attribuer au fait qu'ils étaient produits par des aimants une influence toute particulière, et presque mystérieuse. Or, ainsi que je l'explique plus loin, je n'avais attaché d'autre importance à la dénomination de *magnéto-électriques*, que celle d'indiquer clairement quel était le moyen par lequel je m'étais procuré les courants qui faisaient l'objet de mon étude. Je savais fort bien que ce qui les caractérisait et les distinguait des autres courants, c'était d'être discontinus et dirigés alternativement en sens contraires. C'est ce double caractère qui m'avait paru donner à ce genre de courants une importance dont l'expérience m'a confirmé la réalité, car elle m'a montré que leur emploi pouvait conduire à la découverte de phénomènes d'un ordre tout nouveau, et d'un véritable intérêt pour la science.

Les courants discontinus et dirigés alternativement en sens contraires, peuvent être développés de bien des manières différentes, et non pas seulement par des aimants. Il convient donc de les désigner par ce qui constitue leur caractère principal, soit pour ainsi dire leur essence, plutôt que par une circonstance accessoire, telle qu'une des manières de les produire. C'est ce que je fais aujourd'hui ; je le fais d'autant plus volontiers que mon but est précisément de chercher, encore plus que dans mon précédent travail, à tirer parti dans mes expériences, des deux circonstances qui font différer ces courants des courants ordinaires de la pile voltaïque, avec lesquels je serai appelé à les comparer.

Avant d'entamer l'exposition des nouvelles recherches expé-

rimentales que j'ai faites, j'examinerai les observations critiques de M. Lenz, et je tâcherai d'y répondre. Cet examen et ces réponses, qui m'ont amené tout naturellement à reprendre quelques points de mon premier travail, serviront ainsi d'introduction à la partie de ce second mémoire qui contient des recherches nouvelles.

PREMIÈRE PARTIE.

EXAMEN DES OBSERVATIONS CRITIQUES DE M. LENZ SUR MON MÉMOIRE INTITULÉ : *Recherches sur les propriétés des courants magnéto-électriques*.

M. Lenz a publié dans les *Annalen der Physik* de Poggendorff[1], les observations sur mon précédent Mémoire dont j'ai parlé ; il les a classées sous les mêmes chefs sous lesquels j'avais classé mes recherches. Je suivrai également le même ordre dans l'examen que je vais en faire.

§ I. *Observations générales sur les Courants magnéto-électriques*.

M. Lenz commence par combattre l'opinion qu'il puisse y avoir une différence spécifique entre les courants électriques d'origine différente ; il n'admet point que, parmi ces courants, les uns soient plus particulièrement propres à produire des effets chimiques, les autres des effets calorifiques ; il rejette l'idée que le rapport de la conductibilité des corps ne soit pas le même pour les courants forts que pour les courants faibles. Il

[1] *Ann. der Physik*, vol. XLVIII, p. 385.

attribue les erreurs où, suivant lui, les physiciens sont tombés à cet égard, à l'ignorance où ils sont de la loi de Ohm, loi dont la découverte lui paraît être une des plus importantes qui aient été faites dans l'électricité voltaïque.

Sans nier l'importance de la loi de Ohm, je me permettrai de remarquer qu'il faut distinguer les circonstances dont cette loi a pour but d'apprécier l'influence, de la forme sous laquelle elle en tient compte. Quant à ces circonstances, je les avais moi-même énumérées dans un Mémoire publié dans les Annales de Chimie en mars 1828[1]; j'avais expressément indiqué que l'intensité d'un courant électrique dans un couple voltaïque dépend non-seulement de l'énergie relative sur les deux métaux, de la cause productrice, savoir l'action chimique, suivant moi; mais qu'elle dépend aussi des résistances que le courant rencontre dans son passage à travers le circuit. J'avais indiqué que ces résistances sont l'imparfaite conductibilité des solides, et surtout des liquides qui entrent dans le circuit, et la difficulté que l'électricité éprouve à traverser des conducteurs alternativement solides et liquides. M. Ohm admet que l'intensité du courant est une fonction de deux des trois causes de résistance que je viens de rappeler; mais il a de plus que moi déterminé la forme de cette fonction. Cette forme rend-elle compte de tous les cas possibles? Les physiciens allemands paraissent le croire. J'ai, je l'avoue, quelques doutes à cet égard, et surtout je suis loin d'être convaincu que les résistances plus ou moins grandes que rencontre un courant dans le circuit qu'il a à traverser, soient les seules causes des caractères spécifiques qu'il présente dans ses propriétés. Je ne nie point que ces circonstances ne jouent un rôle très-grand dans la production des phénomènes. Dans le Mémoire que j'ai déjà cité, dans un Mémoire antérieur publié en 1825[2], dans presque toutes

[1] Ann. de Ch. et de Phys., t. XXXVII, p. 251.
[2] Ann. de Ch. et de Phys., t. XXVIII, p. 213.

les recherches que j'ai faites dès lors sur l'électricité, je montre l'importance de tenir compte de ces résistances. J'explique ainsi l'influence du nombre et de la grandeur des couples d'une pile sur les différents effets qu'elle est apte à produire [1]; j'en déduis l'explication des effets calorifiques du courant voltaïque [2], etc. C'est après avoir d'abord cru que le principe des résistances pouvait rendre compte de toutes les circonstances, qu'il m'est venu des doutes, que j'ai exposés dans ma lettre à M. Arago, insérée dans les Annales de Chimie [3], doutes que plusieurs expériences de M. Faraday, relatives à l'*intensité* des courants dus à différentes actions chimiques, m'ont paru confirmer. Je ne m'étendrai pas davantage ici sur ce point important que je compte traiter séparément plus tard. Je me bornerai à résumer ma pensée au sujet de la loi de Ohm, en disant qu'il ne m'est pas encore prouvé que le principe de cette loi soit parfaitement sûr; mais que, même en l'admettant, il me resterait des doutes sur l'exactitude de la forme sous laquelle Ohm croit pouvoir introduire dans l'expression générale de l'intensité d'un courant, les circonstances qui déterminent cette intensité. Ces doutes, je les puise essentiellement dans la difficulté d'isoler d'une manière absolue chacune des circonstances déterminantes, ce qu'il faut nécessairement faire pour connaître sa part d'influence; dans les anomalies nombreuses que présente l'expérience, surtout quand on agit sur des courants énergiques, anomalies qu'il n'est pas toujours facile d'expliquer; et enfin dans la connexité intime que je vois exister entre les actions chimiques et les actions électriques, et dans l'accord qui doit en résulter entre les variations qu'éprouvent ces dernières, et celles auxquelles les premières sont sujettes.

[1] Ann. de Ch. et de Phys., t. XXXIX, p. 319, et Mémoires de la Soc. de Phys. et d'Hist. nat., t. VI.

[2] Ann. de Ch. et de Phys., t. XL.

[3] Ann. de Ch. et de Phys., t. LXI, p. 38.

Après l'observation générale que je viens de rappeler, M. Lenz fait deux remarques sur les appareils dont j'ai fait usage : la première est relative à la nature des courants que j'ai étudiés, l'autre à l'emploi que j'ai fait du thermomètre de Breguet pour mesurer l'intensité de ces courants au moyen de leur effet calorifique.

Voici, autant que je l'ai comprise, en quoi consiste exactement la première remarque. L'auteur semble croire que j'attribue à chacun des courants élémentaires produits par induction et non à leur ensemble, les propriétés que j'ai cherché à découvrir dans les courants magnéto-électriques ; il a l'air de supposer que je considère l'origine de ces courants plutôt que la manière dont ils sont groupés, comme la cause des phénomènes qu'ils présentent, et il observe qu'en conséquence j'aurais dû étudier l'effet de chaque courant isolé, et non celui d'une succession plus ou moins rapide de ces mêmes courants. C'est cette étude qu'il fait lui-même plus loin, et dont les résultats ne sont pas en tout point d'accord avec ceux que j'ai obtenus en m'occupant du sujet sous un autre point de vue.

Je ne vois pas, je l'avoue, ce qui aurait pu m'obliger à m'occuper des courants isolés plutôt que de leur ensemble. J'ai un appareil (celui de Clarke) qui me produit une série de courants électriques par induction ; je décris cet appareil ; je donne aux courants qu'il développe un nom (*courants magnéto-électriques*) qui, sans rien préjuger sur leurs propriétés, rappelle l'appareil d'où ils émanent ; je cherche à analyser leurs effets, j'expose les lois auxquelles ces effets me paraissent être soumis. A la rigueur, j'aurais pu m'en tenir là, et ne rien dire sur la cause à laquelle j'attribue ces effets. Cependant dans plusieurs endroits de mon Mémoire je me suis expliqué sur ce point, et j'ai toujours énoncé une opinion contraire à celle que semble m'attribuer M. Lenz, qui m'a mal compris, à ce qu'il paraît. J'ai dit que j'attribuais les propriétés spéciales des courants magnéto-électriques, non à ce qu'ils sont produits par des

aimants, mais bien à ce qu'ils sont discontinus et dirigés alternativement en sens contraire [1]. Si j'ai fait usage d'un aimant pour me procurer ces courants, c'est que j'ai trouvé que c'était le moyen le plus commode et en même temps le plus convenable pour les avoir d'une intensité constante. Je n'ai jamais nié que des courants remplissant toutes les mêmes conditions, mais produits par une autre source, ne pussent jouir des mêmes propriétés.

La seconde remarque préliminaire de M. Lenz a pour objet, ai-je dit, l'emploi que j'ai fait du thermomètre de Breguet pour mesurer l'intensité des courants magnéto-électriques au moyen de l'élévation de température que ces courants déterminent dans l'hélice de ce thermomètre en la traversant. M. Lenz remarque que le courant se partage entre les trois lames d'argent, d'or et de platine, qui composent l'hélice, proportionnellement à leur conductibilité électrique, et par conséquent inégalement, que ce courant doit aussi les échauffer inégalement, tant à cause de cette circonstance que parce qu'il produit d'autant plus de chaleur qu'il rencontre des résistances

[1] C'est ce qui résulte de plusieurs passages de mon Mémoire, notamment des suivants :

Ainsi, après avoir décrit l'appareil dont je me sers, j'ajoute : « On peut, « par un artifice, faire disparaître l'un des deux courants alternativement « contraires, de manière à n'avoir qu'une suite de courants tous dirigés « dans le même sens; mais ils perdent alors une grande partie de leur « énergie et *quelques-unes de leurs propriétés les plus remarquables*. » Voilà bien la preuve que j'envisage le fait que ces courants sont dirigés alternativement en sens contraire comme la cause de quelques-unes de leurs propriétés les plus remarquables.

Plus loin, en parlant des effets physiologiques si prononcés de ces courants, je dis : « Il paraît que la puissance de ces courants est due es« sentiellement à leur discontinuité; car on sait que lorsqu'un courant « agit d'une manière continue, quelle que soit son intensité, l'animal « soumis à son action n'éprouve de commotion qu'au moment où cette « action commence, ou à l'instant qu'elle cesse. De plus, on peut obtenir « le même effet en *rendant discontinu, au moyen d'un artifice très-simple,* « *le courant développé par un simple élément voltaïque*. »

plus grandes. Il en conclut que le phénomène de l'échauffement d'une hélice du thermomètre de Breguet par le courant électrique, est un phénomène très-compliqué, et qu'on ne peut pas se servir de ce moyen pour mesurer l'intensité des courants.

J'admets avec M. Lenz qu'il est très-possible que le courant ne se distribue pas uniformément entre les trois lames métalliques qui composent l'hélice; mais je n'en conclus pas que les trois lames n'aient pas exactement la même température. Je remarquerai d'abord que les deux circonstances qui sont indiquées comme devant déterminer une température différente dans chaque lame se compensent l'une l'autre; car si, d'une part, la lame la moins conductrice transmet moins d'électricité, d'autre part elle s'échauffe davantage par l'action du même courant, en vertu même de la plus grande résistance qu'elle présente. D'ailleurs, quel que soit le mode de distribution du courant, il est impossible que l'élévation de température qui en résulte ne soit pas la même pour chaque partie contigüe des trois lames; l'ensemble de ces trois lames n'a que $\frac{1}{50}$ de ligne d'épaisseur, et comment pourrait-on croire que, pendant une expérience qui dure toujours quelques minutes au moins, les points correspondants des trois lames pourraient se maintenir à des températures différentes? Ce serait contraire à tous les phénomènes de conductibilité pour le calorique et à la tendance constante de cet agent à l'équilibre. D'ailleurs, peu importe; le courant électrique développe de la chaleur en traversant l'hélice du thermomètre de Breguet, et j'ai trouvé, dans un Mémoire antérieur à celui dont il s'agit [1], que l'intensité du courant conclue de l'élévation de température qu'il détermine dans cette hélice, ne diffère pas sensiblement de celle qu'on déduit de l'indication des autres procédés galvanométriques.

[1] Mém. de la Soc. de Phys. et d'Hist. nat., t. VII, p. 457, et Ann. de Ch. et de Phys., t. LXII, p. 147.

M. Lenz n'aura probablement pas eu connaissance du Mémoire que je viens de rappeler.

Au reste, je ne veux point conclure de ce qui précède, que l'intensité du courant soit exactement proportionnelle aux indications du thermomètre de Breguet; je n'ai jamais eu cette prétention, et d'autant moins que je crois fort difficile de trouver un instrument dont les indications soient en rapport exact avec les variations d'intensité du courant. Si je me suis servi du thermomètre métallique, c'est d'une part que je crois utile, quand on étudie des courants électriques, d'examiner leurs variations d'intensité sous le rapport de tous leurs effets; d'autre part, il était impossible de me servir, pour l'étude de l'espèce de courants que je voulais analyser, du galvanomètre chimique et du galvanomètre magnétique, à cause de l'alternative non interrompue dans le sens des courants successifs. En effet, avec le galvanomètre chimique, les deux gaz qui proviennent de la décomposition de l'eau arrivant presque simultanément sur chacun des fils de platine qui servent de pôles, ils se combinent immédiatement en grande proportion pour recomposer l'eau; et avec le galvanomètre magnétique, les deux courants alternatifs se succédant avec une grande rapidité, l'aiguille obéit indifféremment à l'un ou l'autre, suivant sa position par rapport aux fils de l'instrument, ou reste parfaitement en équilibre.

M. Lenz, en répétant et variant mes expériences, s'est servi de la déviation de l'aiguille aimantée; mais alors il n'a employé qu'un seul courant instantané, celui qu'on obtient en détachant d'un aimant un morceau de fer entouré d'un fil métallique où se développe le courant par induction. Je n'hésite pas à attribuer les différences qui existent entre les résultats qu'il a obtenus et ceux auxquels j'étais parvenu, à la diversité des courants dont nous avons l'un et l'autre fait usage.—Que M. Lenz trouve plus intéressant de déterminer les effets d'un seul courant instantané, rien de plus légitime. Mais en même temps

qu'il me soit permis de m'occuper des phénomènes que produit une succession de courants instantanés dirigés alternativement en sens contraire; je crois que cette étude peut avoir des conséquences importantes, et si je l'ai abordée, ce n'est pas par caprice, mais par des motifs qui datent de loin, et qui m'ont fait adopter avec empressement un moyen simple et facile de se procurer une série de courants placés dans les conditions que je viens de rappeler.

§ II. *Passage des courants magnéto-électriques à travers des conducteurs métalliques.*

J'avais trouvé que les courants magnéto-électriques sont mieux conduits par un conducteur hétérogène que par un conducteur homogène. Voici l'expérience que je rapporte à l'appui de cette opinion : « En traversant un conducteur de même « longueur totale, c'est-à-dire d'un mètre, mais formé de deux « fils attachés bout à bout, l'un de fer, l'autre de cuivre, le « courant a donné 75° (au thermomètre métallique de Bre- « guet); en mettant à la suite l'un de l'autre quatre bouts, « alternativement *cuivre* et *fer*, mais toujours de même lon- « gueur totale, ce courant a donné 76°; il a donné 77° lors- « que le conducteur a été composé de huit bouts alternative- « ment *cuivre* et *fer*. Dans tous les cas la longueur totale du « conducteur était la même, et les fils de cuivre et de fer « avaient tous le même diamètre d'un millimètre. »

J'ajoute immédiatement : « C'est probablement à la circon- « stance que les courants magnéto-électriques sont composés « de courants discontinus et alternativement contraires qu'est « due leur préférence pour les conducteurs hétérogènes, tandis « que les courants voltaïques et thermo-électriques continus et « toujours dirigés dans le même sens traversent avec bien plus « de facilité les conducteurs homogènes. »

M. Lenz a fait les mêmes expériences, mais, comme je l'ai dit, avec un seul courant instantané qui faisait dévier l'aiguille d'un galvanomètre ; il n'a observé aucune différence dans l'intensité du courant en le faisant passer à travers des bouts de fil de fer et des bouts de fil de cuivre de même longueur, placés les uns à la suite des autres, soit que ces bouts alternassent, soit qu'ils n'alternassent pas. Je n'aurais point été surpris que l'auteur eût trouvé une différence contraire à celle que j'avais observée ; en effet, il est bien connu, par mes propres expériences et par celles de M. Peltier, que le changement de conducteur (lors même que les conducteurs sont l'un et l'autre métalliques) est, pour un courant dirigé constamment dans le même sens, une cause de diminution. Les expériences de M. Lenz prouvent qu'il n'y a plus de diminution lorsque le courant est instantané ; les miennes, qu'il y a une légère augmentation quand, au lieu d'un courant instantané ou d'un courant continu, c'est une série de courants instantanés dirigés alternativement en sens contraires, qui traverse le système de conducteurs solides alternant entre eux. Le premier de ces résultats provient probablement de ce qu'un courant instantané, à cause de sa force énorme de projection, n'est pas, comme un courant continu, sensible aux petites différences de conductibilité qui sont dues aux changements de conducteurs solides. Ce que j'avance n'est pas une pure hypothèse ; car comment expliquer, si on ne l'attribue pas à la même cause, le fait qu'un courant instantané produit des effets physiologiques si puissants, malgré la grande résistance que doit lui présenter l'introduction dans son circuit tout métallique d'un corps organisé, tandis qu'une pile dont le circuit est bien moins bon conducteur en produit de si faibles comparativement ? Une série de courants instantanés discontinus doit présenter la même propriété qu'un courant isolé ; mais si ces courants vont alternativement en sens contraire, non-seulement ils ne sont plus sensibles aux changements de conducteurs, mais ces changements paraissent faciliter un peu

leur transmission. Je ne saurais voir aucune contradiction entre ces résultats ; et quant à celui que j'ai obtenu, il est prématuré peut-être de vouloir l'expliquer ; aussi je m'en étais abstenu dans mon Mémoire. Toutefois je me permettrai, pour montrer que ce phénomène ne présente rien de contraire aux idées reçues, d'indiquer la cause à laquelle il me paraît être dû, tout en reconnaissant que ce sujet mérite encore d'être étudié.

Un premier courant instantané détermine, dans un conducteur qu'il traverse, deux courants par induction : l'un *a* dirigé en sens contraire du sien, qui est simultané avec lui, et qui diminue par conséquent un peu sa propre intensité ; l'autre *b* dirigé dans le même sens, et qui lui succède immédiatement. Ce courant *b* est simultané avec le second courant instantané qui suit immédiatement le premier, et qui est dirigé en sens contraire, par conséquent aussi en sens contraire du courant *b*. Celui-ci diminue donc l'intensité du second courant instantané ; ce second courant détermine à son tour des courants par induction, qui doivent produire le même effet sur lui-même et sur le troisième courant instantané, et ainsi de suite. Il résulte donc de ce qui précède qu'une série de courants instantanés cheminant dans un sens alternativement contraire à travers un conducteur, déterminent dans ce conducteur des courants par induction qui diminuent leur intensité originelle. Tout ce qui affaiblira ces courants par induction augmentera d'autant l'intensité des courants fondamentaux ; or, cet affaiblissement, on le produira en disposant le fil métallique de façon que les bouts de fer et de cuivre dont il est formé alternent le plus possible ; cette disposition, en effet, affaiblit excessivement l'induction du courant sur lui-même, qui est, comme on le sait, d'autant plus forte que le conducteur homogène où elle a lieu est plus long.

Telle est donc l'explication qui me paraît la plus naturelle du phénomène que j'ai observé, et qui, comme on le voit, provient de ce que les courants avec lesquels je l'ai obtenu sont instantanés et dirigés alternativement en sens contraires.

§ III. *Passage des courants magnéto-électriques à travers des conducteurs liquides.*

M. Lenz étudie avec détail le paragraphe dans lequel je m'occupe du passage des courants magnéto-électriques à travers les conducteurs liquides. Il croit, comme moi, que l'influence que la longueur plus ou moins grande du conducteur liquide exerce sur l'intensité de l'électricité transmise, est plus grande pour ces courants que pour les courants magnéto-électriques ; il remarque que c'est une conséquence toute naturelle de la loi de Ohm. Je ne le nie point, car voici ce que j'ajoute après avoir rapporté mes résultats :

« Je n'essayerai pas de chercher dans les tableaux qui pré-
« cèdent la loi suivant laquelle l'intensité du courant augmente
« à mesure que la distance diminue ; cette loi, en effet, est liée,
« ainsi que l'ont montré les beaux travaux de MM. Ohm et
« Fechner, avec la conductibilité de tout le circuit que le cou-
« rant parcourt, et par conséquent, dans ce cas, avec celle
« du fil métallique dans lequel il est développé et de l'hélice
« qu'il traverse, etc. »

M. Lenz n'est plus d'accord avec moi quand il s'agit d'apprécier l'influence qu'exerce sur l'intensité des courants magnéto-électriques l'interposition d'un diaphragme métallique dans le liquide que traversent ces courants. J'avais remarqué que, si ce diaphragme a une étendue égale à celle de la section du liquide dans lequel il est placé, les courants magnéto-électriques n'éprouvent aucune perte d'intensité parce qu'on ne change point la longueur du trajet liquide, tandis que, dans les mêmes circonstances, les courants voltaïques et thermo-électriques en éprouvent une sensible. M. Lenz conclut, soit d'expériences qu'il avait déjà faites précédemment, soit de nouvelles qu'il a faites dans les mêmes circonstances que les mien-

nes, c'est-à-dire en interposant une lame de platine dans un acide étendu, qu'un courant instantané éprouvera une diminution d'intensité considérable par l'effet de l'interposition d'un diaphragme métallique dans le liquide conducteur. Il trouve même que la résistance qu'éprouve le passage du courant à travers la lame est à peu près dix fois aussi grande que celle qu'il éprouve à travers le liquide tout entier.

Je suis prêt à reconnaître l'exactitude du résultat obtenu par M. Lenz, mais je n'en conclus point que les miens soient erronés. En effet, nos expériences ne sont point comparables, puisque dans les unes on fait usage d'un seul courant instantané, et que dans les autres on emploie une série de courants instantanés, dirigés alternativement en sens contraires. Il est vrai que la nature du circuit tout métallique dans lequel les courants magnéto-électriques sont développés, doit les rendre beaucoup plus sensibles que les courants hydro-électriques à une augmentation de résistance dans le reste du circuit qu'ils ont à parcourir, telle que celle qui résulte de l'interposition d'un diaphragme; c'est ce que trouve M. Lenz. Mais, lorsque c'est une série de courants dirigés alternativement en sens contraires qui est transmise, il se passe un phénomène qui doit singulièrement modifier les résultats. La lame métallique dont j'ai fait usage comme diaphragme est de platine; elle reçoit successivement sur chacune de ses faces l'oxigène et l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau opérée par les courants successifs; et cependant aucun dégagement de gaz ne se montre, comme je l'ai dit dans mon Mémoire. Cette absence de gaz est due à l'oxidation et à la réduction successives qu'éprouve le platine, comme je le montrerai dans la seconde partie du présent Mémoire. Or donc cette action chimique fait disparaître la résistance qu'exerce un diaphragme métallique sur les courants qui le traversent. J'ai montré en effet, dans de précédentes recherches [1], que l'action chimique qu'éprouve la

[1] Ann. de Ch. et de Phys., t. XXVIII, p. 213, et t. XXXVII, p. 251.

surface d'un diaphragme diminue la résistance que ce diaphragme oppose à la transmission de l'électricité ; et dans le cas dont il s'agit, chaque filet de courant apportant lui-même son oxigène, qui est ensuite enlevé par l'hydrogène du courant suivant, il est transmis facilement par l'oxidation et la désoxidation successives qu'il opère ainsi. Aussi, dès qu'un peu de gaz se montre, l'action chimique n'est plus complète sur la lame de platine, et la résistance qu'elle oppose à la transmission des courants devient alors sensible. Un très-grand nombre de faits confirment l'exactitude de cette explication. Ces faits se trouvent déjà dans le Mémoire que j'ai publié ; j'aurai l'occasion d'en citer de nouveaux dans la seconde partie de celui-ci.

§ IV. *Influence de la grandeur et de la forme des conducteurs métalliques qui doivent conduire les courants dans un liquide.*

J'avais consacré un paragraphe à l'étude de l'influence de la forme et de l'étendue du conducteur métallique, qui sert à transmettre les courants dans le liquide. Le résultat le plus important que j'avais obtenu, est que, lorsque l'étendue du conducteur métallique dépasse une certaine limite, on n'augmente point l'intensité des courants transmis en augmentant cette étendue. Quand on a atteint la limite en question, il n'y a aucun développement de gaz sur la surface du conducteur ; en conséquence, toute action chimique paraît cesser quoique la transmission de l'électricité soit plus facile qu'elle ne l'était lorsque, la surface du conducteur étant moins étendue, on y voyait paraître des bulles de gaz. J'avais attribué l'effet que je viens de décrire à ce que, les courants magnéto-électriques étant totalement transmis quand on a atteint une certaine étendue pour la surface de contact entre le conducteur solide et le li-

quide, on ne gagne plus rien à augmenter cette étendue. Quant à la cessation du dégagement des gaz, j'avais cru qu'on pourrait peut-être expliquer, par l'affaiblissement qu'éprouvent les filets des courants en étant disséminés, l'affaiblissement qui les rend incapables de produire des effets chimiques; j'avais ajouté que ces effets se manifestent toujours dans les points où les courants sont gênés dans leur passage; dès qu'ils n'éprouvent plus de gêne, ce qui arrive quand on a atteint la limite en question, les phénomènes de décomposition ne peuvent plus avoir lieu. J'avais ensuite cité quelques faits relatifs à l'influence de la forme du conducteur, et j'avais cependant terminé tout ce paragraphe par la réflexion suivante :

« Il se pourrait, comme nous le verrons plus loin, qu'une « légère action chimique, qui peut dans quelques cas avoir « lieu sur la partie de la surface du platine en contact avec le « liquide dans lequel elle transmet les courants magnéto- « électriques, ne fût pas sans quelque influence dans la pro- « duction des phénomènes qui ont fait l'objet de ce paragra- « phe. »

M. Lenz admet bien que l'étendue de la surface métallique qui transmet un courant quelconque dans le liquide, doit affaiblir les filets élémentaires et les rendre peut-être incapables d'opérer les décompositions chimiques; mais il n'est pas convaincu que l'absence d'actions chimiques soit bien réelle; il soupçonne qu'elle peut n'être qu'apparente et que les bulles des gaz dégagés sont si petites qu'elles restent dissoutes dans le liquide ou sont invisibles. Il présume aussi que, dans les expériences que j'ai faites, la disparition des gaz peut provenir de la combinaison de l'oxigène et de l'hydrogène sur la surface du platine, où ils arrivent si rapidement l'un après l'autre. Je dois le reconnaître, je suis porté à croire que M. Lenz a raison; déjà, comme le prouve le paragraphe que j'ai cité plus haut, j'avais des doutes sur l'absence bien réelle d'action chimique dans le cas où aucun dégagement de gaz

n'avait lieu. Et même, après avoir montré que lorsque la surface du conducteur devient très-grande, l'action chimique d'un courant voltaïque diminue aussi, mais sans devenir complétement nulle, j'avais ajouté la phrase suivante : « Ce point « mérite d'être de nouveau examiné, et je compte y revenir « incessamment en l'étudiant surtout en vue des courants vol- « taïques et de l'influence que peut exercer sur le phénomène, « non-seulement l'étendue, mais la nature différente des con- « ducteurs liquides et métalliques en contact, à travers lesquels « le courant est transmis, et où s'opère la décomposition chi- « mique. »

De nouvelles observations que j'ai faites dès lors, et qui sont contenues dans le reste de ce Mémoire, m'ont montré, en effet, qu'il y a véritablement action chimique lors même qu'aucun dégagement de gaz n'est sensible sur la surface des conducteurs qui transmettent les courants dans le li uide. Ainsi l'idée que j'avais avancée que ces courants ne produisent d'action chimique que lorsqu'ils sont gênés dans leur passage, me paraît devoir être de nouveau soumise à l'examen; il est possible que l'action chimique s'affaiblisse seulement sans devenir jamais complétement nulle.

Quant à l'existence d'une limite dans l'étendue de la surface de contact entre les conducteurs métallique et liquide, la plus favorable à la transmission des courants, M. Lenz la conteste. Il cite des expériences faites toujours avec le courant électrique instantané, desquelles il résulte qu'il a toujours vu augmenter l'intensité du courant transmis à mesure qu'il donnait plus d'étendue à la surface du métal en contact avec le liquide. Cependant il reconnaît lui-même que l'augmentation d'intensité qui correspond à une certaine augmentation dans la surface immergée, n'est plus si sensible quand cette surface est déjà très-grande, mais il affirme qu'elle a toujours lieu. Je remarquerai sur ce point que M. Lenz n'a pas augmenté assez la surface du métal immergé pour atteindre la limite, qui existe, à ce que je

crois, avec toute espèce de courants; mais je dois observer qu'avec les courants dirigés alternativement en sens contraires, la limite doit être beaucoup plus vite atteinte à cause de l'action chimique dont j'ai parlé plus haut, qui facilite le passage de l'électricité du liquide dans le métal, et réciproquement du métal dans le liquide. Quelle que soit la cause de l'existence de cette limite, il est évident qu'il y en a une, du moins pour les courants dont j'ai fait usage, puisque si on la dépasse, même de beaucoup, on n'augmente plus ni les effets chimiques, ni les effets calorifiques de ces courants, tandis qu'avant de l'atteindre, une augmentation dans l'étendue de la surface immergée accroît sensiblement l'énergie de ces effets.—M. Lenz me fait ici une objection que je n'ai pas comprise; il dit que si j'ai atteint cette limite, tout le courant doit passer, et que je devrais par conséquent obtenir alors le même effet calorifique que j'obtiens quand le circuit est tout métallique. Cela serait vrai, si toute la résistance qu'éprouvent les courants dans leur circuit n'avait lieu qu'au passage de la lame métallique dans le liquide; mais le liquide lui-même en exerce une qui reste constante, et on atteint la limite quand on a annulé la première de ces deux causes de résistance, la seconde continuant toujours à subsister. C'est ce que j'exprime en disant que tout le courant magnéto-électrique est transmis, c'est-à-dire tout le courant qui peut être développé dans un circuit en partie métallique et en partie liquide.

§ V. *Phénomènes particuliers qui ont lieu à la surface des métaux qui ont servi à mettre les liquides dans le circuit magnéto-électrique.*

M. Lenz ne fait aucune remarque sur les phénomènes qui font l'objet de ce paragraphe, et qui constituent la partie la plus importante de mon Mémoire. Il observe seulement qu'il est

probable qu'ils peuvent être produits par des courants hydro-électriques placés dans les mêmes conditions que les magnéto-électriques ; je suis à cet égard tout-à-fait de son avis, et j'invoque même de plus que lui l'expérience à l'appui de mon opinion.

Les phénomènes dont il est question sont relatifs à la formation d'une couche métallique très-divisée, sur la surface des métaux qui transmettent dans un liquide les courants magnéto-électriques. Cet effet paraît être dû à une suite d'oxidations et de réductions qu'éprouve la surface de ces métaux, même celle des métaux les moins oxidables en apparence, tels que l'or et le platine. Je n'insiste pas pour le moment sur cette catégorie de faits sur lesquels je reviens dans le reste de ce Mémoire.

§ VI. *Des effets auxquels donne lieu l'emploi simultané des conducteurs liquides et métalliques pour conduire les courants magnéto-électriques.*

J'avais exposé dans ce paragraphe quelques faits qui semblaient montrer une espèce d'interférence exercée par les courants magnéto-électriques les uns sur les autres. Avant d'arriver à l'hélice du thermomètre métallique, les courants traversaient deux conducteurs situés parallèlement, entre lesquels ils se partageaient : l'un de ces conducteurs était une couche très-mince d'acide sulfurique étendu, placée entre deux lames de platine très-larges ; l'autre un fil métallique dont on pouvait faire varier la longueur. Or j'observais que l'addition de ce second conducteur, non-seulement n'augmentait pas l'intensité calorifique des courants sur l'hélice, mais pouvait même le diminuer lorsqu'on lui donnait une certaine longueur. J'avais indiqué les longueurs qui produisaient, avec des fils de diffé-

rente nature et de même diamètre, les *maxima* et les *minima* d'effets.

M. Lenz a fait un très-grand nombre d'expériences sur ce sujet; mais il a toujours employé un seul courant instantané; il l'a fait passer à travers deux conducteurs parallèles, tantôt solides l'un et l'autre, tantôt l'un solide, l'autre liquide. Il a constamment observé que, conformément à la loi de Ohm, le courant se partageait entre les deux conducteurs proportionnellement à leur conductibilité, et que la conductibilité du circuit double était la somme des conductibilités partielles des deux parties dont il se composait. Le conducteur solide était, dans ses expériences, un fil métallique plus ou moins long et de nature variable; le conducteur liquide, du sulfate de cuivre placé dans le circuit au moyen de deux lames de cuivre.

Il n'est pas étonnant que M. Lenz, ayant fait ses expériences dans des conditions toutes différentes que celles dans lesquelles j'ai fait les miennes, ne soit pas arrivé aux mêmes résultats. J'observe d'abord que dans mes expériences le conducteur formé d'une couche mince d'acide sulfurique étendu, placée entre deux lames de platine, était aussi bon et même meilleur que le conducteur tout métallique formé d'un fil fin d'argent ou de platine. Ce n'était pas, à ce que je crois, le cas dans les expériences de M. Lenz, où le conducteur solide était meilleur que le liquide. En outre, je faisais usage de courants dirigés alternativement en sens contraires, et M. Lenz n'employait qu'un courant instantané. Or, il est fort possible que le phénomène que j'ai observé tienne à cette seconde circonstance. C'est un point qui mérite d'être éclairci; et en général ce sujet tout entier est à étudier. Je me suis engagé à faire cette étude en publiant les premiers résultats que j'ai obtenus; je tiendrai mon engagement. Je conviendrai même volontiers que je me suis peut-être un peu trop hâté de parler d'interférences avant d'avoir réuni un plus grand nombre d'observations, quoique je persiste à soutenir l'exactitude de mes expériences, lorsqu'on

opère dans les conditions où j'ai moi-même opéré, et à trouver qu'elles semblent ne pouvoir s'expliquer que par une espèce d'interférence.

Je termine ici cette première partie de mon Mémoire ; on trouvera peut-être que je l'ai traitée avec un peu trop de développement ; mais le travail de M. Lenz est un travail fort long et plein de détails, et il m'était impossible de le laisser sans réponse, puisqu'il avait pour objet exclusif la critique de mes précédentes recherches. Il est à regretter que M. Lenz n'ait pas fait, avant d'entreprendre cette critique, la réflexion par laquelle il la termine ; il en serait résulté une controverse beaucoup plus courte entre lui et moi.

Voici ce qu'il dit après avoir, comme je l'ai rappelé plus haut, combattu les conclusions que j'énonce dans le § VI :

« Quant à savoir si une succession rapide des courants ma-
« gnéto-électriques opposés entre eux modifie les phénomènes
« qui sont dus à l'influence des conducteurs, c'est ce que d'au-
« tres recherches pourront décider. En tout cas, la cause n'en
« est pas dans la nature des courants, mais dans leur mode de
« succession ; les phénomènes seraient les mêmes si un courant
« hydro-électrique était conduit de même dans des directions
« alternativement contraires au travers du conducteur, au
« moyen d'un commutateur. »

Je n'ai jamais dit autre chose ; ainsi, pour combattre mes résultats, il fallait se placer sur le même terrain où je me suis placé, et par conséquent se servir des mêmes courants dont j'ai fait usage.

SECONDE PARTIE.

ÉTUDE DES PHÉNOMÈNES QUE PRODUISENT LES COURANTS DISCONTINUS ET DIRIGÉS ALTERNATIVEMENT EN SENS CONTRAIRES, QUAND ILS TRAVERSENT UN CIRCUIT FORMÉ DE CONDUCTEURS MÉTALLIQUES ET LIQUIDES, PRÉCÉDÉE DE RECHERCHES PRÉLIMINAIRES SUR L'OXIDATION DU PLATINE.

En étudiant de nouveau les phénomènes qui avaient fait l'objet de mon précédent mémoire, je m'étais aperçu qu'ils avaient presque tous leur source dans les effets chimiques particuliers que produisaient les courants par induction dont je m'étais servi. Ces courants doivent à la circonstance qu'ils sont dirigés alternativement en sens contraires, d'amener successivement sur les conducteurs métalliques qui les transmettent dans un liquide, les éléments opposés qui constituent ce liquide, l'oxigène et l'hydrogène, par exemple, si c'est de l'eau. Or cette rapidité avec laquelle ces éléments contraires se succèdent sur la même surface métallique, y détermine des effets chimiques d'un ordre remarquable. Il en résulte que le rôle relatif que jouent dans un circuit les conducteurs métalliques et liquides dont il est formé, est tout différent selon que les courants que transmet ce circuit sont continus, ou qu'ils sont dirigés alternativement en sens contraires. Il m'a paru que c'était pour rechercher en quoi réellement consiste cette différence et qu'elles en sont les causes que je devais commencer mon travail; c'est donc à cette étude que je consacre cette seconde partie de mon Mémoire, me réservant d'en développer plus tard les applications et les conséquences.

Mais avant d'aborder directement le point particulier de recherches que je viens de signaler, je traiterai une question qui

s'y rattache intimement et dont la solution préalable est d'une grande importance pour la suite de mon travail, je veux parler de la propriété qu'a le platine de s'oxider sous l'action immédiate de l'oxigène. J'avais déjà conclu l'existence de cette propriété de plusieurs phénomènes que j'avais rapportés dans mon premier Mémoire. Toutefois j'ai senti que, avant de la regarder comme complétement démontrée, et de pouvoir l'admettre comme base de l'interprétation de bien des résultats, j'avais besoin de l'appuyer sur des preuves tirées d'expériences directes. C'est ce que j'ai cherché à faire, et c'est le résultat de ce travail que je vais exposer dans la première section de cette seconde partie de mon Mémoire. Peut-être trouvera-t-on au premier abord, cette question un peu étrangère au sujet principal du Mémoire, mais comme on le verra dans la seconde section, elle l'est si peu que la plupart des phénomènes qui sont décrits dans cette section s'y rattachent plus ou moins complétement. D'ailleurs le sujet lui-même de l'oxidation du platine et les conséquences qu'on peut en tirer sous divers points de vue, m'ont paru présenter assez d'intérêt pour justifier, en supposant qu'elle en soit une, une digression de quelque étendue dont je n'aurais pas osé, vu que la question n'était pas traitée d'une manière assez complette, faire un mémoire à part.

PREMIÈRE SECTION.

Recherches préliminaires sur l'oxidation du platine.

J'avais attribué, dans mon précédent Mémoire, la formation de la couche pulvérulente dont se recouvre la surface des fils de platine, quand ils ont servi à transmettre pendant un certain temps dans un liquide conducteur les courants magnéto-électriques, à l'oxidation et à la réduction successives qu'éprouve la surface du métal par le dégagement alternatif de l'oxigène

et de l'hydrogène, qui proviennent de la décomposition de l'eau opérée par ces courants. J'avais également émis l'idée que, si l'on n'avait pas reconnu plus tôt la faculté qu'a le platine de s'oxider, c'est qu'on n'avait pas distingué la simple oxidation superficielle, qui serait la seule dont seraient susceptibles les métaux dits *non-oxidables*, de l'oxidation dont sont susceptibles les métaux *oxidables*, oxidation qui pénètre plus ou moins profondément au-dessous de leur surface, comme par l'effet d'une véritable cémentation. Voici en peu de mots les motifs qui m'avaient conduit à tirer ces conséquences du fait même que je viens de rappeler, savoir la formation de la couche pulvérulente.

1° Le phénomène se passe exactement de la même manière avec les métaux qu'on sait positivement être oxidables, tels que l'*argent* et le *cuivre*; seulement la formation de la couche pulvérulente est plus rapide sur ces derniers métaux, et le dégagement de gaz qui a lieu en commençant cesse presque immédiatement, tandis qu'avec les fils d'or et surtout de platine, il dure très-longtemps.

2° Il arrive cependant un moment où le dégagement gazeux cesse aussi avec les fils d'or et de platine; et il cesse quand, de même que pour les autres métaux, la surface étant devenue très-divisée, l'oxidation et par conséquent la réduction du métal sont devenues très-faciles; seulement il faut plus de temps avec le platine qu'avec les autres métaux pour arriver au point où les gaz ne se montrent plus.

3° Quand on continue à faire passer les courants magnéto-électriques, lors même que le dégagement gazeux n'a plus lieu, on aperçoit une succession rapide de changements de couleur dans la surface des fils d'or et de platine, semblable à celle que l'on voit sur la surface des fils des métaux oxidables, et, en particulier, de l'argent, dans les mêmes circonstances. Les changements de couleur correspondent exactement au dégagement alternatif d'oxigène et d'hydrogène opéré par les cou-

rants, et par conséquent à l'oxidation et à la réduction alternatives du métal.

Les motifs qui précèdent, et que j'ai tirés des expériences contenues dans mon précédent Mémoire, ne m'ont pas paru, ainsi que je l'ai dit, encore suffisants pour pouvoir poser comme un principe acquis à la science le fait de l'oxidation du platine sous l'action immédiate de l'oxigène. J'ai donc repris ce sujet en vue de l'étudier de plus près, de constater d'une manière positive cette nouvelle propriété, et de suivre quelques-unes de ses conséquences.

Je chercherai d'abord à montrer que le platine peut s'oxider et se désoxider par l'action immédiate de l'oxigène et de l'hydrogène dégagés aux pôles positif et négatif d'une pile; je ferai voir ensuite que c'est dans l'oxidation dont le platine est susceptible, qu'on peut trouver la cause des courants électriques que produit dans bien des cas un couple dont les deux lames sont également de platine; enfin je signalerai quelques phénomènes d'un autre ordre, qui me semblent dépendre de la propriété qu'a le platine de s'oxider, et fournir par conséquent de nouvelles preuves de l'existence de cette propriété.

§ I. *Action sur le platine de l'oxigène et de l'hydrogène dégagés aux pôles positif et négatif d'une pile.*

Pour constater directement l'oxidation du platine, j'essayai d'en exposer une grande surface à l'action de l'oxigène naissant, en m'en servant comme pôle positif d'une pile, dans de l'eau acidulée, puis en le transportant ensuite au pôle négatif; j'avais pris pour second pôle un fil très-fin et très-court, également de platine, afin d'établir la plus grande différence possible entre les deux surfaces. Je recueillais avec soin, séparément dans des éprouvettes graduées, les gaz dégagés à chacun des pôles, et lorsque le rapport entre les quantités d'oxi-

gène et d'hydrogène n'était pas exactement celui qui constitue l'eau, j'en concluais que le gaz qui ne se trouvait pas en quantité suffisante pour la proportion voulue, avait été employé à oxider ou à désoxider la grande surface de platine, suivant que c'était l'oxigène ou l'hydrogène qui manquait.

Les expériences ont été faites successivement avec de l'acide nitrique et avec de l'acide sulfurique étendus de 9 parties d'eau en volume ; les deux acides étaient parfaitement purs, ainsi que l'eau. Les résultats m'ont constamment paru plus concluants avec la solution d'acide sulfurique, parce que dans cette solution l'eau seule était décomposée, tandis que dans la solution d'acide nitrique, une partie de l'acide lui-même étant décomposée, les gaz dégagés n'étaient plus uniquement de l'oxigène et de l'hydrogène ; il pouvait s'y trouver un peu d'oxide d'azote et même d'azote. On évitait, du reste, cet inconvénient en employant de l'acide nitrique extrêmement étendu, mais il fallait alors une pile plus forte.

Après avoir bien décapé une lame de platine[1] de 20 centimètres de longueur sur 3 de largeur, et l'avoir lavée dans l'eau distillée, je l'ai roulée en spirale et je l'ai plongée dans de l'eau acidulée avec de l'acide sulfurique, sous une éprouvette graduée remplie du même liquide ; un fil de platine très-mince et très-court plongeait dans la même eau acidulée au-dessous d'une éprouvette également graduée. On pouvait faire communiquer la lame et le fil avec les pôles d'une pile, au moyen de fils de platine qui étaient renfermés dans des tubes de verre, de façon que les gaz provenant de la décomposition du liquide étaient en entier recueillis dans chacune des éprouvettes graduées. On mit d'abord la lame en communication avec le pôle —, et le fil

[1] J'ai constamment suivi, pour décaper les lames de platine, le procédé indiqué par Faraday, qui consiste à les faire rougir et à les frotter avec un morceau de potasse, pendant qu'elles sont incandescentes, puis à les plonger dans de l'acide sulfurique bouillant, et à les laver ensuite longtemps dans de l'eau distillée constamment renouvelée.



avec le pôle + : on obtint exactement 100 centimètres cubes d'hydrogène à la lame, et 50 d'oxigène au fil. On changea les pôles : il y eut 16 centimètres cubes d'oxigène à la lame, et 41 d'hydrogène au fil; il manquait donc 4 $\frac{1}{2}$ centimètres cubes d'oxigène qui avaient été pris par la lame. Cet oxigène n'avait pu être employé à se combiner avec l'hydrogène, qui aurait été retenu par la lame quand elle servait de pôle négatif. En effet, puisqu'il n'avait point manqué d'hydrogène dans la première expérience, il n'en était point resté d'adhérent à la lame. D'ailleurs dans cette expérience, comme dans les suivantes, on a toujours eu soin de secouer fortement les lames pour en détacher tout le gaz qui aurait pu rester adhérent à leur surface.

Dans une autre expérience, après avoir eu soin, comme toujours, de bien décaper la lame, on la mit d'abord en communication avec le pôle +, et le fil avec le pôle — : on obtint 8 centimètres cubes d'oxigène à la lame, et 20 d'hydrogène au fil; il manquait donc 2 centimètres cubes d'oxigène. On changea les pôles et on obtint 10 centimètres cubes d'oxigène au fil, et 15 à 16 d'hydrogène à la lame; il manquait 4 à 5 centimètres cubes d'hydrogène, à peu près le double, et par conséquent l'équivalent de l'oxigène qui avait disparu, et qui avait été employé à oxider la surface de la lame.

Je fis les mêmes expériences en me servant, pour liquide, d'eau très-légèrement acidulée avec de l'acide nitrique. La lame de platine avait été décapée, comme toujours, avec beaucoup de soin, et roulée en spirale; le fil de platine n'avait que 4 à 5 millimètres de longueur. Ayant fait communiquer le pôle négatif avec le fil et le pôle positif avec la lame, j'obtins 87 centimètres cubes d'hydrogène au fil, et seulement 40 d'oxigène à la lame; il manquait donc 3 $\frac{1}{2}$ c. c. d'oxigène. Je laissai l'appareil 24 heures sans rien y changer, la lame et le fil trempant dans le liquide. Je remis de nouveau le pôle + à la lame, et le pôle — au fil : j'obtins exactement 40 c. cubes d'oxigène à la lame, et 80 d'hydrogène au fil, preuve que la couche d'oxide

formée sur la surface du platine le jour auparavant, avait persisté, malgré le contact de l'eau légèrement acidulée. Mais ayant mis le pôle — à la lame, et le pôle + au fil, j'eus 50 c. cubes d'hydrogène à la lame, et 29 d'oxigène au fil; il manquait donc 8 c. cubes d'hydrogène, à peu près l'équivalent de l'oxigène qui était resté sur la lame. J'avais eu soin, dans chacune des expériences, de changer la partie du liquide qui était dans l'éprouvette autour de la lame et du fil, afin que les conditions de l'expérience fussent chaque fois les mêmes, sans toutefois exposer la lame et le fil au contact de l'air.

Voici encore quelques expériences avec de l'eau tenant en dissolution un dixième en volume d'acide sulfurique.

Avec une pile très-faible on mit le pôle + à la lame, et le pôle — au fil; on obtint 20 mesures d'hydrogène et seulement 6 d'oxigène; il en manquait donc 4. On prit une pile plus forte, dont on mit le pôle + en contact avec le fil, et le pôle — en communication avec la lame. On obtint 5 mesures d'oxigène et 6 d'hydrogène; il manquait donc 4 mesures d'hydrogène, ce qui prouve qu'il n'y avait eu que 2 mesures d'oxigène prises ou conservées par la lame, dans la portion du moins dont l'hydrogène avait opéré la réduction. On remit de nouveau les pôles dans la même position, et on eut 8 mesures d'oxigène au fil et 16 d'hydrogène à la lame. Enfin on prit une lame de platine qui était restée exposée à l'air, et, l'ayant mise au pôle —, tandis que le pôle + communiquait avec le fil court, on n'obtint que 5 mesures d'hydrogène contre 5 d'oxigène; il manquait donc 5 mesures d'hydrogène qui avaient été employées à réduire la surface légèrement oxidée du platine.

Une lame bien décapée fut mise au pôle —, et le fil fut placé au pôle + : il y eut déficit d'une petite quantité d'hydrogène presque inappréciable. On changea les pôles : il y eut d'abord 10 hydrogène et 3 oxigène seulement; après une seconde opération semblable, il y eut 20 hydrogène et 9 oxigène, en tout 30 hydrogène et 12 oxigène; il manquait donc 3 oxigène.

On continua l'expérience en changeant de temps à autre les pôles, et toujours il manquait quelques mesures de celui des gaz qui se dégageait sur la lame; mais cette disparition n'avait plus lieu quand la lame avait déjà pendant quelque temps servi de lieu de dégagement à ce même gaz.

Je dois reconnaître que, lorsque je faisais alterner sur la lame le pôle + et le pôle —, la quantité d'oxigène et la quantité d'hydrogène qui disparaissaient n'étaient pas toujours exactement équivalentes l'une à l'autre. J'attribue ces différences, d'une part, à ce que le liquide dissout un peu d'oxigène, d'autre part, à ce que le courant ne se porte pas uniformément sur tous les points d'une lame, surtout lorsqu'elle a une grande surface; et par conséquent il peut arriver que tous les points de la lame qui ont été recouverts par l'un des gaz, ne le soient pas exactement par l'autre. Peut-être aussi une partie de l'oxide formé se dissout-elle dans l'eau acidulée, ce qui explique pourquoi il y a toujours proportionnellement plus d'oxigène que d'hydrogène qui disparaît. —J'indique enfin plus loin une autre cause de cette différence.

J'ai répété les mêmes expériences en substituant successivement à la lame de platine de l'éponge de platine et un fil de platine dont la surface avait été rendue pulvérulente au moyen des oxidations et réductions alternatives que lui avaient fait éprouver les courants magnéto-électriques. Avec l'éponge qui avait trempé plusieurs jours dans l'acide et qui avait été bien purifiée, et que je plaçai au pôle négatif, j'obtins les proportions voulues des deux gaz. Mais l'ayant mise en communication avec le pôle positif, je n'eus que 3 mesures d'oxigène contre 10 d'hydrogène. Les phénomènes se passèrent du reste comme avec la lame de platine; quoique le morceau d'éponge fût très-petit, le nombre très-grand des points de contact qu'il avait avec le liquide par le fait de sa nature, rendait encore plus sensible que pour la lame des absorptions successives d'oxigène et d'hydrogène, dues à l'oxidation et à la réduction alternatives du métal.

Le fil dont la surface était pulvérulente avait 12 centimètres de longueur environ. Ayant été mis en contact avec le pôle — immédiatement après l'opération qui avait ainsi modifié sa surface, opération dont il sort toujours légèrement oxidé, comme je le montrerai plus loin, il ne donna que 5 mesures d'hydrogène contre 5 d'oxigène dégagées au pôle positif, qui communiquait avec le fil de platine ordinaire de 5 millimètres de longueur. Ayant changé les pôles de place, après cette première opération, il n'y eut que 3 oxigène au long fil contre 12 hydrogène au court. Il manquait donc 3 mesures d'oxigène. Ayant continué la même expérience, il y eut deux mesures d'oxigène contre 8 d'hydrogène; il manquait encore 2 mesures d'oxigène; en tout 5 entre les deux expériences. Puis, dès lors les gaz se dégagèrent dans les proportions voulues. Ayant changé encore une fois les pôles, je n'eus que 12 hydrogène au long fil, contre 10 oxigène au court; il manquait donc 8 mesures d'hydrogène employées à réduire l'oxide formé par l'oxigène qui avait manqué dans les expériences précédentes. Ayant refait une dernière expérience sans changer les pôles, j'obtins exactement 10 mesures d'hydrogène au long fil contre 5 d'oxigène au plus court.

Enfin, je plaçai dans un même eudiomètre, rempli toujours d'eau acidulée, un long fil de platine à surface pulvérulente, et un court à surface lisse. Je mis le long fil en communication avec le pôle +, et le court avec le pôle —; puis, quand le mélange gazeux eut rempli la moitié de l'eudiomètre, je fis détoner, et il me resta un excès d'hydrogène égal à un dixième du volume total. Ayant répété trois ou quatre fois la même expérience, j'obtins à peu près constamment le même résultat. Mais à la fin la poussière métallique qui recouvrait le long fil de platine avait presque totalement disparu. Il est probable que la partie de cette poussière très-fine qui s'oxidait, se dissolvait à mesure dans l'acide, et mettait ainsi à nu les nouvelles particules qui s'oxidaient à leur tour. C'est ce qui explique pourquoi il y

avait constamment un excès d'hydrogène dans le mélange gazeux. Le même phénomène n'avait pas lieu avec la lame dont la surface, qui n'était pas pulvérulente, ne pouvait pas facilement, lors même qu'elle était oxidée, se dissoudre dans l'eau acidulée. Il n'avait pas lieu non plus avec un long fil à surface lisse, roulée en hélice, que j'avais substitué au fil à surface pulvérulente. Dans ce dernier cas, le mélange gazeux que j'avais obtenu en mettant le fil en hélice en communication avec le pôle + de la pile, présenta un excès de 3 mesures d'hydrogène. En changeant les pôles de place et laissant le résidu d'hydrogène dans l'eudiomètre, j'eus encore un mélange gazeux que je fis détoner, mais il ne présenta presque point de résidu ; l'excès même d'hydrogène provenant de la première opération, avait totalement disparu. Cet excès était donc dû à ce qu'une partie de l'oxigène avait été employée à oxider la surface du long fil de platine quand celui-ci communiquait avec le pôle positif ; il disparut, parce qu'en faisant communiquer ce même fil avec le pôle négatif, une partie de l'hydrogène qui aurait dû se trouver dans le mélange gazeux, avait été employée à désoxider le fil.

Il me paraît donc résulter des expériences qui précèdent :

1° Que du platine parfaitement propre et décapé peut s'oxider à sa surface sous l'action de l'oxigène naissant ;

2° Que cet oxide ne se dissout pas dans de l'eau légèrement acidulée, quand la surface du platine sur lequel il est formé n'est pas pulvérulente [1] ;

3° Que cet oxide est très-facilement réductible par l'action de l'hydrogène.

On présentera peut-être deux objections contre les conclu-

[1] Si l'acide est concentré ou bouillant, il n'en est plus de même. La lame qui a été exposée à l'action d'un acide dans ces conditions et qui a été ensuite lavée dans de l'eau distillée, se conduit comme une lame parfaitement désoxidée.

sions que je viens d'énoncer : la première, que les phénomènes que j'ai décrits peuvent être dus à la dissolution des gaz dans les liquides ; la seconde, qu'ils ne sont que le résultat d'une simple adhérence, tantôt de l'oxigène, tantôt de l'hydrogène, à la surface du platine.

Examinons successivement ces deux objections.

Je dois reconnaître que l'eau acidulée peut dissoudre une partie des gaz qui se dégagent à chacun des pôles d'une pile, et plus particulièrement un peu d'oxigène ; il faut aussi admettre que le gaz en se développant sur une grande surface, facilite cette dissolution. Mais on ne peut expliquer ainsi tout le phénomène. Lorsqu'après avoir mis la lame de platine en contact avec le pôle positif, et avoir observé la disparition d'une certaine quantité d'oxigène, je répète la même expérience après avoir eu soin de complétement renouveler la partie du liquide qui était en contact avec les pôles, je trouve que l'oxigène se dégage à très-peu près dans la proportion voulue. Si l'absence d'une partie de l'oxigène dans le premier cas était due à sa dissolution dans le liquide ambiant, pourquoi cette dissolution et par conséquent cette même absence n'aurait-elle pas lieu dans le second cas de la même manière ? Comment se fait-il qu'une lame de platine mise au pôle —, après avoir été bien décapée et lavée, donne l'hydrogène dans la proportion voulue, tandis que la même lame, après avoir été exposée à l'action de l'oxigène, fait disparaître dans le même liquide une partie de l'hydrogène qui se dégage à sa surface ?

L'observation suivante, qui est bien facile, montre bien qu'il est impossible d'attribuer les phénomènes que nous avons décrits, du moins en totalité, à l'absorption des gaz par le liquide. Qu'on prenne une lame de platine qui a été exposée quelque temps à l'air ou à l'action de l'oxigène, et qu'on la plonge dans un liquide conducteur, en s'en servant comme pôle négatif d'une pile dont le courant traverse ce liquide : il s'écoule plusieurs secondes, quelquefois jusqu'à 20, avant que l'hydrogène

s'y montre, tandis que l'oxigène se dégage immédiatement sur une lame semblable placée au pôle positif. Qu'on mette au contraire les pôles en communication avec deux lames de platine parfaitement décapées : l'hydrogène paraît immédiatement sur la lame négative, tandis que l'oxigène ne se montre que quelques secondes plus tard sur la lame positive. Il est donc évident que les différences dans les époques précises où les gaz deviennent visibles sur chaque lame, sont dues à l'état même de la surface des lames, et non pas à la faculté qu'aurait le liquide de dissoudre les gaz, faculté qui aurait dû agir de la même manière dans les expériences que nous venons de rapporter.

Enfin, les polarités secondaires qu'acquièrent les lames de platine, polarités dont la nature varie suivant que ces lames ont dégagé à leur surface de l'oxigène ou de l'hydrogène, sont une preuve de plus que cette surface a été modifiée par ces gaz, et qu'elle l'a été, comme nous le verrons dans un instant, par l'effet dû à une oxidation ou à une réduction.

Ici se présente la seconde objection. Les lames de platine retiennent de l'oxigène à leur surface, dit-on ; mais ce gaz n'est qu'adhérent, il ne forme point une combinaison chimique, et il en est de même de l'hydrogène, qui adhère aussi à son tour à la surface du platine. Ces phénomènes sont dus à une action purement physique d'adhésion; et, ajoute-t-on, quand on transporte le pôle négatif à la lame qui a été en communication avec le pôle positif, la disparition d'une partie de l'hydrogène est due à ce qu'à l'état naissant il s'est combiné avec l'oxigène resté adhérent à cette lame.

J'ai examiné également avec soin cette partie de la question, d'autant plus que l'opinion que je viens de rappeler est celle qui a été adoptée par M. Matteucci, et, à ce qu'il me semble, par M. Schœnbein, dans les travaux que ces deux physiciens ont faits, chacun de leur côté, sur les polarités secondaires.

Voici les motifs qui me conduisent à croire qu'il n'y a pas

une simple adhésion physique, mais bien une véritable combinaison chimique entre les gaz et la surface du platine :

1° Quand la surface du platine est bien fraîchement décapée et nettoyée avec soin, l'oxigène seul adhère, et non pas l'hydrogène. Si, en mettant une lame de platine dans une éprouvette pleine d'hydrogène, M. Matteucci a vu le volume du gaz diminuer, c'est que la lame avait eu sa surface légèrement oxidée par son exposition à l'air ou à l'action directe de l'oxigène. La lame, en effet, lorsqu'elle a été bien désoxidée et lavée, ne prend point d'hydrogène, soit qu'on s'en serve comme pôle négatif d'une pile, soit qu'on la mette dans une éprouvette pleine d'hydrogène.

2° L'état pulvérulent que prend une surface de platine, quand elle a été exposée pendant longtemps à l'action alternative de l'oxigène et de l'hydrogène, est une preuve que l'adhésion de l'oxigène a été une véritable combinaison chimique, et celle de l'hydrogène une véritable décomposition de l'oxide. Car il arrive au platine exactement ce qui arrive à d'autres métaux, tels que le cuivre, quand leur surface éprouve une succession d'oxidations et de réductions ; cette surface devient pulvérulente.

3° Il est impossible d'apercevoir, même à l'aide d'une forte loupe, la moindre bulle d'oxigène gazeux sur la surface du platine qui a été exposé à l'action de ce gaz. Le frottement d'un linge n'enlève point non plus cet oxigène; il faut, pour le faire disparaître, ou une action mécanique qui renouvelle la surface, ou celle d'un acide fort et bouillant qui dissolve l'oxide formé. C'est donc encore une preuve que c'est une véritable combinaison chimique; il est vrai qu'elle n'est que superficielle, et si l'on estime que cette circonstance suffise pour que le phénomène soit physique, alors la question n'est plus qu'une question de mots. Mais ce n'est pas ainsi, il me semble, qu'on peut l'entendre; une simple adhésion physique implique l'idée que les corps adhérents gardent leurs propriétés propres et individuel-

les. Or, il n'en est pas ainsi dans ce cas, puisque l'oxigène n'est plus gazeux, et que la surface du platine finit par se réduire en poussière par l'action successive des deux gaz ; ainsi le phénomène a tous les caractères d'un véritable phénomène chimique.

Les expériences que je viens de rapporter ont été faites dans le printemps et l'été de l'année 1838. Elles furent l'objet d'un Mémoire que je lus à la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève, le 4 septembre de cette même année. Je n'imprimai point alors ce Mémoire, mais j'en adressai un extrait à M. Becquerel, qui le communiqua à l'Académie des Sciences de Paris, et le fit imprimer dans le Compte Rendu des séances de cette Académie. (Décembre 1838.)

J'ai répété plusieurs fois, depuis cette époque, les expériences que je viens de décrire, et elles m'ont donné constamment les mêmes résultats. — Tout récemment encore (le 28 avril 1841), j'ai obtenu le résultat suivant avec une pile à force constante de 10 éléments, dont les pôles communiquaient à une lame de platine tournée en hélice qui avait été fortement décapée, et à un fil de platine très-court ; la lame et le fil plongeaient dans de l'acide sulfurique purifié avec soin, et étendu de 9 fois son volume d'eau distillée ; on recueillait dans des éprouvettes graduées les gaz dégagés à chacun des pôles. En commençant, le pôle — étant mis en communication avec la lame, les gaz ont été dans les proportions voulues. On a mis le pôle + à la lame, le pôle — au fil : il y a eu 20 c. c. d'hydrogène, et seulement 6 d'oxigène au lieu de 10. En changeant de nouveau les pôles, on a obtenu 10 c. c. d'oxigène, et seulement 15 d'hydrogène ; il aurait dû en manquer 8 au lieu de 4, pour représenter l'équivalent de l'oxigène qui avait disparu. Mais, comme je l'ai déjà dit, il est très-rare qu'il disparaisse, dans ces expériences, une quantité d'hydrogène équivalente à celle de l'oxigène. J'y reviendrai plus loin, en indiquant une des

causes dont je n'ai pas parlé plus haut, qui peuvent contribuer à occasionner cette différence entre les deux gaz.

§ II. *De l'influence qu'exerce l'oxidation du platine sur la production de courants électriques par des couples composés uniquement de ce métal.*

Je suis le premier, je crois, qui ait montré que, lorsque deux fils de platine ont servi à décomposer l'eau par l'effet du courant voltaïque, ces deux fils peuvent former un couple qui donne naissance à un courant; le fil qui a servi de pôle positif, et sur lequel par conséquent l'oxigène s'est dégagé, est l'élément négatif du couple; le fil qui a servi de pôle négatif et de lieu de dégagement à l'hydrogène, en est l'élément positif. Ce courant dure quelques instants et cesse plus ou moins vite suivant la nature du liquide dans lequel plongent les deux fils pendant la décomposition de l'eau opérée par le courant, et suivant la nature du liquide dans lequel ils plongent ensuite pour former le couple.

J'avais attribué ce phénomène, dans le Mémoire où je l'ai décrit et étudié [1], à un état électrique particulier dans lequel se constituaient les molécules des fils métalliques, pendant qu'ils transmettaient le courant, et j'avais appuyé mon hypothèse sur le fait que les parties des fils de platine qui ne plongent pas dans le liquide pendant que le courant passe, manifestent, quoique à un moindre degré, les mêmes propriétés que les portions des fils correspondants sur lesquelles se déposent les éléments du liquide décomposé. M. Becquerel, plus tard, a montré que cette explication n'était pas la véritable, et que l'effet observé était dû à un dépôt excessivement mince des éléments des substances décomposées par le courant, dépôt qui

[1] Mém. de la Soc. de Phys. et d'Hist. nat. de Genève, t. III (2e partie), et Ann. de Ch. et de Phys., t. XXXVI, p. 34.

a lieu sur la surface des fils de platine. Lorsque le courant cesse de passer, l'action du liquide sur ce dépôt détermine le courant appelé secondaire, dans lequel les fils de platine jouent le rôle, l'un d'élément positif, et l'autre d'élément négatif. Cependant des expériences subséquentes m'ont prouvé que, ainsi que je l'avais avancé, des fils et des lames de platine qui n'ont pas reçu ce dépôt sur leur surface, peuvent bien donner naissance à un courant secondaire, beaucoup plus faible, il est vrai, mais cependant perceptible. J'ajouterai seulement que l'étude plus approfondie que j'ai faite de ces phénomènes m'a conduit à reconnaître qu'ils sont bien dus à un effet chimique du liquide sur la surface du platine, non-seulement dans le cas où il y a un dépôt, comme M. Becquerel l'a indiqué, mais aussi dans le cas où ce dépôt n'a pas eu lieu.

MM. Matteucci, Peltier et Schœnbein, qui se sont occupés de ce sujet, ont montré que les lames de platine et d'or peuvent développer un courant secondaire par le seul fait qu'elles ont servi à décomposer de l'eau légèrement acidulée, et même de l'eau parfaitement pure, sans que les produits de la décomposition aient été autres que de l'oxigène sur l'une des lames et de l'hydrogène sur l'autre. M. Matteucci attribue ce phénomène à l'adhérence de l'oxigène et de l'hydrogène sur chacune des lames où ces gaz se sont dégagés; il prouve cette adhérence en introduisant la lame sur laquelle l'oxigène s'est porté, dans une éprouvette remplie d'hydrogène, et celle sur laquelle l'hydrogène a été dégagé, dans une éprouvette remplie d'oxigène, et en constatant que le volume des gaz diminue un peu dans chaque éprouvette. Il a réussi à produire les mêmes polarités secondaires en plaçant pendant quelques instants les lames de platine, l'une dans une atmosphère d'oxigène, l'autre dans une atmosphère d'hydrogène, avant de les plonger dans le liquide conducteur qui doit former le circuit, au lieu de les mettre aux pôles positif et négatif de la pile [1].

[1] Bibl. Univ. t. XVII (octobre 1838), p. 378.

M. Peltier [1] estime que l'effet est dû aux gaz qui restent dissous dans l'eau, et il a réussi à produire un courant secondaire en faisant arriver directement de l'hydrogène dans l'eau, et en mettant une des extrémités en platine du galvanomètre dans cette eau hydrogénée, et l'autre extrémité également en platine dans de l'eau ordinaire en contact avec la première.

Enfin, M. Schœnbein [2] a fait un grand nombre d'expériences en plongeant des fils de platine, d'or et d'argent dans différents gaz, et en déterminant les polarités que ces fils acquéraient ou perdaient par l'action de ces gaz ; il a également employé divers liquides conducteurs pour compléter le circuit du couple formé par les fils métalliques, et a étudié l'influence de ces liquides. Il paraît attribuer tous les effets qu'il a obtenus à des actions chimiques, sans bien s'expliquer sur la nature de ces actions, car il ajoute : *Je n'ose pas encore dire que les courants secondaires soient entièrement dus à une action chimique ordinaire.*

Les conclusions auxquelles j'étais arrivé à la suite des recherches contenues dans le paragraphe précédent, m'avaient fait présumer que l'oxidation et la désoxidation du platine pourraient jouer un rôle important dans la production des courants secondaires. Les expériences des physiciens que je viens de nommer s'accordaient avec cette explication, et j'ai cherché à la vérifier en étudiant avec soin le phénomène en question. Je me suis assuré d'abord que des fils et des lames de platine qui ont servi à décomposer de l'eau légèrement acidulée, donnent naissance à un courant secondaire extrêmement fort, et d'autant plus fort que les surfaces sont plus grandes. On obtient l'intensité la plus prononcée en se servant d'un morceau d'éponge de platine. Un fil dont la surface a été rendue pulvérulente par les courants magnéto-électriques, donne aussi un

[1] Bibl. Univ. t. XVIII (novembre 1838), p. 186.
[2] Bibl. Univ. t. XVIII (novembre 1838), p. 187.

courant secondaire beaucoup plus intense qu'un fil dont la surface est unie, probablement parce qu'il présente, comme l'éponge, un beaucoup plus grand nombre de points de contact avec le milieu ambiant.

Voici, suivant moi, la cause du phénomène : Le platine qui a été exposé à l'action de l'hydrogène étant parfaitement décapé, est attaqué légèrement par l'eau acidulée, et même par l'air dissous dans l'eau quand il est plongé dans de l'eau pure ; il donne donc naissance à un courant quand on en fait un couple avec un autre morceau de platine dont la surface a été oxidée, soit par son exposition à l'air, soit encore mieux parce qu'il a été en communication avec le pôle positif ; dans le second cas, le courant est en effet plus fort que dans le premier. Ce courant est plus fort et dure plus longtemps avec une lame qui a une grande surface, avec du platine en éponge ou du fil dont la surface est pulvérulente. Dans ces cas, en effet, l'action chimique a lieu sur un plus grand nombre de points, et comme elle ne doit cesser que lorsque la surface est oxidée, elle cesse ainsi nécessairement plus tard. Il est probable aussi que l'état de division du platine permet une légère dissolution de l'oxide, et présente ainsi constamment à l'action chimique une portion de surface non oxidée. L'explication que je viens de donner est une conséquence de l'oxidation dont j'ai montré que le platine était susceptible ; voyons maintenant si elle est d'accord avec tous les faits.

J'ai fait tremper longtemps dans de l'acide nitrique concentré, des fils, des lames et de l'éponge de platine, afin de les bien décaper ; puis, je les ai lavés avec soin dans de l'eau distillée que j'ai renouvelée plusieurs fois, afin qu'elle ne gardât pas trace d'acide ; j'ai eu constamment soin que les surfaces des métaux ne fussent pas en contact avec l'air. J'ai fixé aux extrémités d'un galvanomètre d'abord un fil et une lame : la lame était positive par rapport au fil ; ensuite un fil et une lame d'un côté, et l'éponge de l'autre : l'éponge a été constamment po-

sitive par rapport au fil et à la lame ; il en était de même d'un fil dont la surface était pulvérulente, mais ce fil était négatif par rapport à l'éponge. Le liquide dans lequel plongeaient les métaux était de l'eau légèrement acidulée avec de l'acide nitrique ou de l'acide sulfurique, l'un et l'autre parfaitement purs. Ces expériences semblent bien indiquer une action chimique sur les surfaces décapées du platine, qui donne naissance à un courant dans lequel la plus grande surface, qui est celle sur laquelle a lieu une action chimique plus étendue, est positive par rapport à l'autre, comme cela se passe pour les métaux oxidables.

J'ai pris ensuite deux lames de platine qui, après avoir été décapées et lavées avec le plus grand soin, étaient restées plongées dans de l'eau distillée ; j'en ai fait sécher une dans l'air, et l'autre sous une cloche, dans laquelle j'ai fait le vide aussi rapidement que possible, et où j'avais placé une capsule remplie d'acide sulfurique concentré, afin de hâter la dessiccation. La lame qui avait séché dans le vide a été constamment positive par rapport à celle qui avait été séchée dans l'air, lorsque l'une et l'autre plongeaient dans de l'acide nitrique ou sulfurique très-étendus d'eau ; preuve que la dernière avait été oxidée à sa surface, et non la première, ou que du moins celle-ci l'avait été à un moindre degré.

J'ai aussi fait sécher dans de l'hydrogène une lame de platine qui avait été décapée : elle a été positive comme celle qui avait séché dans le vide, mais plus fortement, ce qui n'est pas étonnant, vu que toute trace d'oxidation avait dû disparaître dans ce cas sur la surface du platine par l'effet de l'hydrogène.

En plongeant deux autres lames dans de l'acide nitrique concentré, j'ai trouvé l'inverse, c'est-à-dire que celle qui avait séché dans le vide ou dans l'hydrogène était négative par rapport à celle qui avait séché dans l'air. J'en ai conclu que, dans ce cas, la lame oxidée par son exposition à l'air était attaquée par l'acide nitrique qui se combinait avec l'oxide de platine en

le dissolvant, tandis que l'autre lame, non ou moins oxidée, n'éprouvait point ou peu d'effet de la part de l'acide; le sens du courant était parfaitement d'accord avec cette explication.

Afin de m'assurer de son exactitude, j'ai fait les expériences suivantes. J'ai laissé tremper, pendant plusieurs mois, de l'éponge de platine dans de l'acide nitrique concentré parfaitement pur; j'en ai mis dans de l'acide nitrique excessivement étendu, et j'en ai laissé dans une capsule exposée à l'air, mais recouverte d'un papier, afin de préserver de la poussière la surface de platine. Une large capsule de platine, dont l'intérieur bien propre avait cependant été longtemps en contact avec l'air, a été mise en communication avec l'extrémité d'un galvanomètre; on l'a remplie d'acide nitrique pur et concentré; on a plongé dans l'acide, après l'avoir mis en communication avec l'autre extrémité du galvanomètre, au moyen d'un fil de platine, d'abord un morceau d'éponge qui avait été bien désoxidé par son séjour prolongé dans l'acide nitrique, puis un morceau de l'éponge qui, après avoir été désoxidé, était resté plongé dans l'eau ou exposé à l'air; le premier morceau a été négatif, les deux autres très-fortement positifs, surtout celui qui était resté exposé à l'air.

On a mis dans la capsule de l'acide nitrique très-étendu au lieu de l'acide concentré: les résultats ont été précisément inverses. Cette différence s'explique très-bien si l'on remarque que l'action de l'acide nitrique, pur et concentré, n'a pas lieu sur du platine non oxidé, mais bien sur une surface de platine recouverte d'une légère couche d'oxide, tandis que c'est le contraire qui se passe quand l'acide est très-étendu.

Pour que ces actions produisent des déviations un peu fortes sur l'aiguille du galvanomètre, il faut donner au platine de grandes surfaces; c'est ce qui fait que les déviations sont si sensibles avec le platine en éponge; c'est aussi dans ce but que j'ai employé une large capsule de platine. J'ai essayé, en effet, de mettre à l'une des extrémités du galvanomètre un fil de pla-

tine qui plongeait dans le liquide de 2 à 3 centimètres seulement, et à l'autre l'éponge oxidée : j'avais un courant de 5° à 6° seulement. Remplaçant le fil par un morceau d'éponge non oxidée, ou par une surface de platine très-étendue, j'avais un courant qui faisait dévier l'aiguille de plus de 90°.

Il est évident que, dans tous ces phénomènes, c'est à une action chimique qu'est due l'électricité qui y est développée, et que l'oxidation du platine y a une grande part. Maintenant quelle est cette action? C'est un point qui me paraît mériter encore l'examen. Il ne serait point impossible qu'elle consistât, du moins dans le cas de l'acide nitrique, dans une décomposition de cet acide opérée par l'oxigène de la surface oxidée du platine, comme cela a lieu avec les peroxides et notamment avec ceux de plomb et de manganèse. Je reviendrai plus tard sur ce point, en étudiant en même temps ce qui se passe avec les autres métaux, tels que l'or et le palladium, qui ont des propriétés analogues à celles du platine.

§ III. *De quelques autres phénomènes qu'on peut attribuer à l'oxidation du platine.*

Un phénomène qui prouve la facilité avec laquelle le platine s'oxide, c'est l'état dans lequel se constitue un fil de platine qui a été employé pendant quelque temps pour une lampe aphlogistique. On prend un fil de platine roulé en hélice, d'un demi-millimètre de diamètre environ ; on le décape avec soin en le mettant dans de l'acide nitrique, puis on le lave plusieurs fois dans de l'eau distillée ; on le fait sécher et on le place sur une lampe à alcool. On allume la lampe de manière que le fil rougisse, puis on éteint la flamme, et le fil reste incandescent par l'effet de la vapeur d'alcool. Si l'on fait durer le phénomène 24 ou encore mieux 48 heures, le fil, qui était parfaitement uni avant l'expérience, présente, après qu'elle a cessé, une surface

pulvérulente grisâtre, parfaitement semblable à la surface des fils qui ont servi au dégagement alternatif de l'oxigène et de l'hydrogène. Cet effet ne peut être dû qu'aux oxidations et réductions alternatives que le fil a éprouvées par l'action de l'oxigène de l'air et de la vapeur d'alcool. C'est un phénomène tout à fait semblable à celui que présentent des fils de cuivre exposés à l'action d'une lampe à alcool, qui, par les oxidations et réductions alternatives qu'ils éprouvent, se réduisent bientôt en poussière. J'ai répété plusieurs fois l'expérience, et j'ai eu soin d'employer de l'alcool parfaitement pur et des fils d'amiante au lieu d'une mèche de coton; j'ai toujours très-bien réussi. Les fils dont la surface est devenue ainsi pulvérulente, sont ensuite de beaucoup supérieurs aux autres pour la lampe aphlogistique; ils rougissent sur une beaucoup plus grande étendue et avec beaucoup plus de vivacité; preuve nouvelle que le phénomène de la lampe aphlogistique est bien dû à une succession d'oxidations et de réductions alternatives que facilite l'état de désagrégation du métal.

J'ai également rendu pulvérulente la surface d'un fil de platine bien décapé, en m'en servant pour enflammer l'hydrogène dans l'air au lieu d'éponge de platine. Le fil, après avoir été à plusieurs reprises et pendant 10 à 15 minutes chaque fois rendu incandescent par l'hydrogène, a pris une surface grisâtre, légèrement pulvérulente. Cette expérience réussit encore mieux en élevant la température de l'hélice de platine au moyen d'un courant voltaïque qui l'échauffe sans la faire rougir. On dirige alors sur l'hélice un courant d'hydrogène mêlé avec l'air atmosphérique au moyen d'un robinet à double issue, et au bout d'un certain temps la surface du platine a pris l'apparence grisâtre que nous avons déjà signalée.

Les expériences qui précèdent ne seraient-elles pas la preuve que le phénomène observé par Dœbereiner serait dû à une succession d'oxidations et de réductions alternatives? La surface du platine oxidée dans l'air serait immédiatement réduite par

l'hydrogène, puis oxidée de nouveau, réduite encore, et ainsi de suite. Ces alternatives se succédant très-rapidement, il en résulterait l'élévation de température qui rend le platine incandescent et finit par enflammer l'hydrogène. Ce qui semblerait appuyer cette explication, c'est que toutes les circonstances qui favorisent le plus l'oxidation du platine sont aussi celles qui sont exigées pour le succès de l'expérience de Dœbereiner. Ainsi, par exemple, Dulong et Thénard ont remarqué que le platine, pour devenir incandescent sous le courant d'hydrogène dans l'air, doit être parfaitement propre, et qu'il est utile, dans ce but, de le laver dans l'acide nitrique ; l'étendue de la surface, son état de division, favorisent aussi la production du phénomène. Qu'on lise avec soin tous les travaux qui ont été faits sur ce sujet, et en particulier ceux de Faraday, et on trouvera que les conditions les plus favorables pour déterminer par l'intermédiaire du platine la combinaison de l'oxigène et de l'hydrogène, sont aussi celles qui sont les plus propres à faciliter l'oxidation de ce métal.

On peut objecter à l'explication que je viens de donner : 1° qu'il y a des cas où l'action de certaines substances détermine la combinaison de l'oxigène et de l'hydrogène, sans qu'on puisse admettre une succession d'oxidations et de réductions alternatives ; 2° que le platine à l'état d'éponge détermine lui-même certaines combinaisons dont on ne peut rendre compte de la même manière dont je viens d'expliquer la combinaison de l'oxigène et de l'hydrogène. On devrait donc en conclure, si ces objections sont fondées, qu'il faut reconnaître dans l'expérience de Dœbereiner l'action d'une force nouvelle que Berzélius a nommée force *catalytique*.

Quant à la première objection, j'observerai que les cas où il y a combinaison de l'oxigène et de l'hydrogène par l'intermédiaire de certaines substances pour lesquelles il est impossible d'admettre une série d'oxidations et de réductions, sont des cas dans lesquels on fait usage d'une température très-élevée

et de corps non conducteurs de l'électricité. Ce sont des fragments de verre ou de porcelaine qu'on chauffe très-fortement sur du mercure, et dans lesquels on développe ainsi un état électrique qui doit probablement amener la combinaison des gaz par les petites décharges qui en résultent. En effet, si on fait l'expérience dans l'obscurité, on voit de légères lueurs analogues à celles qu'on observe en agitant du mercure dans une capsule de porcelaine fortement chauffée. Tous les cas de ce genre, cités par Dulong et Thénard dans leur Mémoire[1], me paraissent pouvoir être expliqués de cette manière. Ils n'auraient ainsi aucun rapport dans leur cause immédiate avec le phénomène découvert par Dœbereiner.

La seconde objection est plus forte. M. Kuhlmann a décrit une série de combinaisons chimiques opérées par l'intermédiaire du platine, qui semblent se plier difficilement à l'explication que j'ai donnée de la combinaison de l'oxigène et de l'hydrogène. Cependant, si l'on étudie avec soin tous les faits observés par M. Kuhlmann, on peut, je crois, les expliquer par les actions chimiques ordinaires, sans avoir besoin de recourir à une force nouvelle et spéciale. Il ne faut pas perdre de vue que si le platine peut s'oxider, comme je crois l'avoir démontré, il en résulte deux conséquences importantes dans les phénomènes où l'on met le platine en contact avec des substances diverses. La première, c'est que lorsque le platine prend l'oxigène à un composé qui en renferme, l'autre élément étant à l'état naissant, se trouve par là même bien plus disposé à se combiner avec une troisième substance qui est présente. La seconde conséquence, c'est que l'oxigène condensé sur la surface du platine qui est prête à l'abandonner, se trouve par le fait même de sa condensation dans un état beaucoup plus propre à former une combinaison que lorsqu'il est sous la forme gazeuse. Si l'on suit ces deux conséquences dans leur application, les phénomènes observés par M. Kuhlmann peuvent être tous, à peu d'exceptions près, facilement expliqués. Il n'y a que ceux dans

lesquels l'oxigène n'intervient pas d'une manière apparente, ni à l'état libre, ni à l'état de combinaison, qui présentent quelques difficultés dans leur explication. Mais, dans ces cas, il serait possible que l'air atmosphérique, et par conséquent l'oxigène qu'il renferme, jouât un rôle dont on ne se doute pas; il serait possible aussi que le platine pût se combiner avec le charbon, avec le soufre ou avec le cyanogène, de la même manière et aussi facilement qu'il se combine avec l'oxigène. Mais je ne m'arrêterai pas davantage sur ce point particulier qui mériterait d'être traité d'une manière spéciale et avec le secours de l'expérience. Je me bornerai à résumer ma pensée en disant que les actions chimiques superficielles dont la surface du platine est susceptible, me paraissent pouvoir rendre compte d'une manière satisfaisante des phénomènes de combinaison que détermine la présence de ce métal, et qu'on attribue généralement à la force nommée *catalytique*.

Je ne terminerai pas ce paragraphe sans parler d'un phénomène qui me paraît également pouvoir se rattacher à l'oxidation du platine et en dépendre. Je veux parler de cette odeur particulière qu'on remarque dans le gaz oxigène qui se dégage au pôle positif, quand on décompose l'eau par la pile et qu'on se sert pour mettre le liquide dans le circuit de fils de platine ou d'or. Il n'est personne qui, ayant quelquefois opéré avec la pile, n'ait été frappé de cette odeur; quant à moi, je l'avais souvent observée; mais M. Schœnbein est le premier qui l'ait étudiée avec un soin tout particulier, et qui en ait fait l'objet de recherches fort intéressantes[1].

Mr. Schœnbein a été frappé de l'analogie qui existe entre cette odeur et celle que laissent après elles les décharges des machines électriques ordinaires et la chute de la foudre. Il a cru devoir l'attribuer à une substance particulière extrêmement subtile du même genre que le chlore ou le fluor, qui, comme

[1] Bibl. Univ. nouvelle série, t. XXVIII, p. 342 (août 1840).

eux, aurait une grande affinité pour les corps oxidables et qui, étant répandue dans l'air et dans l'eau à l'état de combinaison, serait séparée du corps avec lequel elle est combinée par la force décomposante de l'électricité. Il propose de nommer *ozone* cette nouvelle substance.

J'avouerai qu'en répétant avec soin les ingénieuses expériences de Mr. Schœnbein, auxquelles j'en ai ajouté quelques-unes, j'arrive à une conclusion différente de la sienne. Je n'insisterai pas sur les diverses objections que me paraît présenter son hypothèse. Je me bornerai à en indiquer deux. La première, c'est qu'on ne voit pas clairement avec quelle substance l'ozone se trouve combinée dans l'air et dans l'eau d'où l'électricité la dégage. Est-ce avec l'hydrogène? Mais alors il devrait y avoir un excédant d'hydrogène dans la décomposition de l'eau, et on devrait trouver de l'hydrogène dans l'air, qui renferme aussi de l'ozone. La seconde objection, c'est que Mr. Schœnbein admet que les décharges électriques instantanées, telles que celles d'une bouteille de Leyde ou de la foudre, ont une vertu décomposante. Or, je ne crois pas qu'il en soit ainsi, et je pense que pour séparer l'oxigène et l'hydrogène, et par conséquent l'ozone, il faut un courant électrique continu. J'ajouterai enfin que tant que l'ozone n'aura pas été isolée, il sera difficile d'admettre son existence, à moins de pouvoir invoquer en sa faveur des preuves aussi concluantes que celles qui existent pour l'existence du fluor.

En répétant les expériences de Mr. Schœnbein, je me suis bien convaincu, comme lui, qu'il ne fallait pas chercher la cause de cette odeur sulfureuse ou phosphoreuse dans les substances étrangères mélangées avec l'eau qu'on décompose, telles que les acides. Mais je me suis arrêté à l'idée que j'avais déjà eue avant la publication du travail de Mr. Schœnbein, savoir que cette odeur provient du métal qui sert de pôle à la pile dans le liquide.

J'ai d'abord constaté, avec une très-forte pile, le fait du

transport de particules métalliques très-divisées du pôle + au pôle — dans l'air comme dans le vide, en me servant comme pôles de deux morceaux d'éponge de platine très-rapprochés, mais non en contact, au lieu de deux pointes de charbon. J'ai même obtenu quelques traces d'odeur dans cette expérience. J'ai remarqué que lorsqu'on décompose de l'eau passablement acidulée avec un très-fort courant, au moyen de deux fils ou de deux lames de platine qui n'ont pas une très-grande surface, on voit, au bout d'un certain temps et lorsque le liquide traversé par le courant s'est fortement échauffé, un dépôt d'une poudre noire qui est du platine divisé; le platine paraît s'être détaché du fil et de la lame qui servait de pôle positif. Je suis donc disposé à croire que le courant qui sort du pôle positif entraîne avec lui des particules extrêmement ténues du métal dont est fait ce pôle, que ces particules oxidées sont en partie entraînées par l'oxigène qui se dégage à la surface du métal d'où le courant les détache, et restent ainsi en suspension dans ce gaz, auquel elles donnent par leur présence l'odeur en question. Cette odeur serait donc due aux molécules très-divisées d'un oxide métallique[1].

La présence des corps oxidables doit, comme Mr. Schœnbein l'a observé, faire disparaître l'odeur, parce qu'il en résulte immédiatement la réduction de l'oxide de platine. L'élévation de température du liquide produira le même effet également, parce qu'elle réduira l'oxide. C'est une chose en effet remarquable que, lorsque le courant est très-énergique et qu'il a traversé le liquide assez longtemps pour l'échauffer considérablement, il n'y a plus trace d'odeur.

Tous ces résultats, constatés par l'expérience, s'accordent bien avec mon hypothèse; mais voici un fait qui me paraît lui

[1] Ces particules métalliques oxidées qui sont détachées du fil de platine, expliquent pourquoi, ainsi que nous l'avons vu plus haut, la proportion d'oxigène qui disparaît dans la décomposition de l'eau, est toujours plus forte que celle de l'hydrogène, surtout si le courant est fort.

être éminemment favorable. — Si l'on se sert, pour décomposer de l'eau légèrement acidulée, contenant, par exemple, $\frac{1}{25}$ en volume d'acide sulfurique, d'une pile à force constante de dix éléments, faiblement chargée, on n'a aucune trace d'odeur en prenant pour pôles deux lames ou deux longs fils de platine. Mais si, sans changer la lame ou le fil qui sert de pôle négatif, on diminue notablement la surface du fil qui sert de pôle positif, soit en le recouvrant de cire et en ne le laissant en contact immédiat avec le liquide qu'en quelques points, soit en enfermant le fil de platine dans un tube de verre, de manière que son extrémité seule soit en contact avec le liquide, on obtient alors, quoique le courant soit plutôt plus faible, puisqu'il a moins de facilité à passer dans le liquide, une odeur excessivement forte. De plus, on trouve quand la décomposition a duré quelque temps, les parties du platine par lesquelles le courant a pu sortir, légèrement corrodées. — Ainsi c'est lorsque le courant, étant gêné dans son passage du pôle positif dans le liquide, se trouve par là même condensé en quelques points, qu'il entraîne en sortant ces particules métalliques qui, oxidées, donnent l'odeur en question. — Avec une très-forte pile l'odeur se manifestera en général plus facilement, parce que le courant, étant considérable, sera gêné en passant à travers les mêmes conducteurs qui ne gênent pas un courant moins intense; mais lors même qu'il sera faible, il pourra produire l'odeur pourvu qu'on gêne sa transmission.

Quant à l'odeur qui accompagne les décharges électriques et la chute de la foudre, il est encore plus facile de constater qu'elle est due aux substances très-divisées que l'électricité transporte avec elle. Le fait de ce transport a été prouvé par les nombreuses expériences de Priestley, qui a montré que l'étincelle qui sort du conducteur d'une machine est chargée de molécules métalliques qui émanent de ce conducteur et qui vont dans le sens de l'électricité positive. Fusinieri a démontré de même l'existence de ce transport par la foudre. L'aigrette

que produit l'électricité positive quand elle sort d'un conducteur, n'est probablement due qu'à la combustion des particules excessivement fines que cette électricité emporte avec elle. Or c'est dans ces molécules très-divisées et oxidées, qu'est l'origine de l'odeur qui accompagne ces décharges, surtout lorsque celles-ci sont intenses et qu'elles ont duré longtemps. Toutes les expériences que cite M. Schœnbein viennent à l'appui de cette explication. Le fait que l'eau arrête l'odeur provient de ce que l'eau intercepte les émanations métalliques du conducteur; l'influence de la chaleur qui réduit les oxides doit aussi, comme l'expérience le démontre, empêcher la production de l'odeur. Enfin les deux exemples rapportés par M. Schœnbein, d'une forte odeur produite à la suite de la chute de la foudre, sont également favorables à mon hypothèse, puisque c'est sur des clochers, et par conséquent sur des conducteurs métalliques, que le tonnerre tomba dans les deux cas dont il s'agit.

Une objection qu'on peut présenter contre l'explication que je viens d'exposer, c'est l'identité qui existe entre l'odeur produite par l'électricité, quelle que soit la nature du métal d'où elle sort. Or si la cause de l'odeur réside dans l'oxide métallique, cette odeur devrait varier, avec la nature de cet oxide.— Je remarque d'abord qu'il est assez naturel que des corps aussi semblables que des oxides de platine, d'or, d'argent et de cuivre aient une odeur analogue. De plus, le sens de l'odorat n'est pas tellement parfait qu'il puisse saisir des nuances bien délicates entre les odeurs diverses. Enfin en aspirant le gaz qui possède le principe odorant, manière d'apprécier l'odeur encore mieux, en mettant à la fois en jeu le goût et l'odorat [1], j'ai trouvé, et je ne suis pas le seul, des différences sensibles dans l'effet que produisait sur les deux organes le principe en question, suivant que les fils qui conduisaient le courant dans l'eau acidulée étaient de platine, d'or ou d'argent, l'impression

[1] Ce mode d'opérer m'a été indiqué par M. Melly, qui le tient de M. Schœnbein lui-même, dont il a vu les expériences.

étant beaucoup plus désagréable et âcre avec le platine et l'argent qu'avec l'or. Avec des fils de cuivre j'ai aussi obtenu un effet, moindre il est vrai qu'avec les autres métaux, parce que l'oxide de cuivre se dissout presque en entier dans l'eau acidulée, mais cet effet était également d'une nature un peu différente de celui que j'éprouvais avec le platine, l'or et l'argent. Dans toutes ces expériences, l'eau dont je faisais usage était de l'eau distillée, mélangée avec une petite quantité d'acide sulfurique très-pur.

J'ajouterai encore qu'en opérant avec les fils d'or, on obtenait en commençant une forte odeur; puis on voyait peu à peu le fil d'or qui servait de pôle positif prendre une apparence rougeâtre qui indiquait qu'il s'oxidait, le gaz oxigène et l'odeur diminuant en même temps, jusqu'à ce que le fil eût pris une couleur tout à fait rougeâtre. On changeait alors les pôles; aussitôt le fil, au lieu de rester rouge, présentait une surface pulvérulente, due à la réduction de l'oxide. Et si on remettait de nouveau le fil en communication avec le pôle positif, l'odeur se manifestait de nouveau avec une grande force en commençant.

Je n'ai pas besoin d'ajouter que la polarité négative si prononcée qu'acquièrent les fils ou lames de platine et d'or plongés dans de l'oxigène chargé du principe odorant, est due très-probablement au dépôt d'oxide en suspension qui s'opère sur leurs surfaces. Or, comme je l'ai montré plus haut, du platine très-divisé, quand il est oxidé, est éminemment négatif s'il forme un couple avec du platine forgé en lame ou en fil. C'est probablement aussi à des molécules de platine ou d'or transportées par le courant sur les fils ou lames qui servent de pôles négatifs, et où le dégagement de l'hydrogène les réduit complétement, qu'est due la forte polarité positive que possèdent ces fils et ces lames. Cette polarité est beaucoup plus forte que celle qu'acquièrent ces métaux en étant simplement plongés dans l'hydrogène ordinaire.

Je ne terminerai pas sans remarquer que la digression que je viens de me permettre à l'occasion de l'*ozone* de M. Schœnbein, se rattachait à mon sujet, puisque la base de l'explication que je propose, est la faculté qu'ont le platine et l'or de s'oxider. C'est donc une application de cette propriété qui ne me paraît pas sans quelque intérêt. J'espère que M. Schœnbein me pardonnera de n'être pas de son avis sur une question qu'en tout cas il aura toujours le mérite d'avoir soulevée le premier, et d'avoir singulièrement avancée par ses belles et nombreuses expériences. — Du reste, je présente mon opinion avec défiance, et je serai prêt à reconnaître mon erreur, si on me la démontre.

SECONDE SECTION.

Des phénomènes que produisent les courants discontinus et dirigés alternativement en sens contraires, quand ils traversent un circuit formé de conducteurs solides et liquides.

Dans mon premier Mémoire j'avais employé, pour produire les courants discontinus et dirigés alternativement en sens contraires, l'appareil de Clarke dans lequel on développe ces courants par induction en faisant tourner rapidement une armure de fer doux entourée d'un fil de métal recouvert de soie, devant les pôles d'un fort aimant. Je m'étais servi, pour mesurer l'intensité calorifique de ces courants, de l'hélice métallique du thermomètre de Breguet, que je mettais dans le circuit. J'ai déjà répondu, dans la première partie de ce Mémoire, aux objections que Mr. Lenz a présentées contre l'emploi de ces appareils. Toutefois, pour me mettre à l'abri de toute nouvelle objection, j'ai tenu à répéter mes anciennes expériences avec des appareils différents, et j'ai fait mes nouvelles recherches, en me servant soit des uns, soit des autres.

J'ai substitué à l'appareil magnéto-électrique de Clarke une

pile à force constante de 10 éléments, montée d'après la méthode de Daniell [1]. Pour obtenir au moyen de cette pile des courants discontinus et dirigés alternativement en sens contraires, j'ai fait usage d'un commutateur construit par Mr. Bonijol, au moyen duquel on pouvait, par un mouvement de rotation plus ou moins accéléré, rendre plus ou moins rapide la succession des courants alternativement contraires, que j'appellerai à l'avenir, pour abréger, *courants alternatifs*. Ce mode d'opérer présente l'avantage de permettre de comparer, pour ainsi dire dans le même instant, l'effet d'un courant continu avec celui du même courant rendu discontinu et dirigé alternativement en sens contraires, ou, comme je viens de l'appeler, *alternatif*.

Pour mesurer les effets calorifiques de ce courant, j'ai substitué à l'hélice du thermomètre de Breguet, un fil de platine très-fin qui traverse la boule remplie d'air d'un thermoscope sensible. — Dès que les courants traversent ce fil, pour peu qu'ils aient quelque intensité, ils l'échauffent et font descendre le liquide dans le tube vertical et long de 30 centimètres qui joint la boule du thermoscope avec le flacon rempli du liquide dans lequel il plonge par son extrémité inférieure. Ce liquide est de l'eau colorée. J'avais d'abord employé de l'alcool coloré, mais les vapeurs de cet alcool qui remplissent la boule du thermoscope déterminent l'incandescence du fil de platine pour peu que ce fil soit échauffé, et par suite une combustion qui dérange complétement les indications de l'instrument. J'ai fait également usage, lorsque les courants étaient trop intenses, du galvanomètre calorifique que j'ai décrit dans un précédent

[1] J'ai préféré employer des tubes en bois au lieu de sacs en vessie, pour séparer la solution de sel marin, dans laquelle plonge le zinc, de celle de sulfate de cuivre, qui est en contact avec le cuivre. Cette substitution, qui ne diminue pas d'une quantité notable la force de la pile, a l'avantage de donner à son action beaucoup plus de constance pendant un temps beaucoup plus long.



Mémoire[1], et qui consiste dans un fil de platine plus ou moins gros et plus ou moins long qu'on met dans le circuit et dont on mesure la dilatation au moyen d'une aiguille qui parcourt les degrés d'une division circulaire. Le fil de platine que j'ai employé avait 162 millimètres de longueur et 1 millimètre de diamètre.

La première expérience que j'ai faite pour me rendre compte de l'effet comparatif des courants continus et des courants alternatifs est la suivante :

Deux lames de platine carrées et de 7 centimètres de côté plongent dans de l'acide sulfurique étendu de 9 fois son volume d'eau ; elles sont placées à une distance de 1 centimètre l'une de l'autre, et communiquent chacune avec l'un des pôles de la pile.—D'abord beaucoup de gaz se dégage sur chacune d'elles, et l'aiguille du moins sensible des galvanomètres calorifiques que j'ai mis dans le circuit marche de 0° à 17°. On met en mouvement le commutateur qui avait été placé dans le circuit : aussitôt il ne se montre plus de gaz sur les lames de platine, et l'aiguille du galvanomètre calorifique chemine jusqu'à 20°. Je refais ensuite les deux mêmes expériences, en substituant au conducteur liquide un fil de platine d'une longueur et d'un diamètre tels, que le galvanomètre calorifique donne 20° quand le courant est continu. — Je fais marcher le commutateur, et aussitôt l'aiguille du galvanomètre revient à 17° ; je rends de nouveau le courant continu, et aussitôt l'aiguille marque encore 20°. Que conclure de cette expérience ? 1°) Que dans les mêmes circonstances, et lorsque le circuit est tout métallique, un même courant est moins fort quand il est discontinu et alternatif que lorsqu'il est continu, ce qui doit être. — 2° Que lorsqu'une partie du circuit est liquide, c'est l'inverse qui a lieu ; ce qui s'explique en remarquant que la moindre intensité que le courant possède quand il est alternatif est plus que compen-

[1] Mém. de la Soc. de Phys. et d'Hist. nat. de Genève, t. VII, p. 485.

sée dans ce cas par la moindre résistance qu'il éprouve dans son passage des lames métalliques dans le liquide, à cause de l'absence d'un dégagement gazeux due à la combinaison immédiate des deux gaz qui se succèdent si rapidement sur la même surface métallique.

On peut mettre en évidence le dernier des résultats que je viens d'indiquer, celui qui a lieu quand une partie du circuit est liquide, en substituant au fil de platine du galvanomètre un fil plus fin : ce fil s'échauffe sans rougir lorsque le courant continu de la pile le traverse ; mais dès que par le mouvement imprimé au commutateur le courant est rendu alternatif, le fil devient incandescent.

Je me suis également assuré de cette manière de la grande conductibilité de l'acide nitrique ordinaire. J'ai placé dans le circuit une couche de cet acide de 1 à 2 centimètres d'épaisseur, en le versant au fond d'une capsule de platine et en mettant sa surface supérieure en contact avec un disque également de platine. Le courant continu d'une pile traversait ce système de conducteurs en éprouvant une assez grande diminution; mais le courant rendu alternatif était conduit également bien, soit qu'il traversât la couche d'acide nitrique, soit qu'en mettant en contact immédiat la capsule et le disque de platine on ne l'obligeât pas à la traverser.

Il résulte de ce qui précède qu'on peut rendre nulle, ou à peu près nulle, la perte d'intensité qu'éprouve l'électricité en mouvement dans son passage d'un conducteur solide à un liquide, et réciproquement, en se servant de courants alternatifs au lieu de courants continus. Aussi ce genre de courants me paraît-il être beaucoup préférable à employer pour déterminer la conductibilité électrique des liquides, parce que l'on élimine ainsi dans le résultat observé la partie de l'effet qui est due au changement de conducteur.

On comprendra maintenant facilement pourquoi, dans mon premier Mémoire sur les courants magnéto-électriques, j'avais

trouvé que ces courants n'éprouvaient pas de perte sensible par l'effet des alternatives des conducteurs métalliques et liquides, et pourquoi ils étaient proportionnellement beaucoup plus affectés que les courants électriques continus, par un changement de longueur dans le conducteur liquide. Dans ceux-ci, en effet, la perte d'intensité dépendant à la fois d'une cause constante, le changement de conducteur, et d'une cause variable, la longueur du trajet liquide, l'influence de cette seconde cause doit être beaucoup moins sensible que lorsqu'il s'agit des courants alternatifs où elle seule se trouve exercer son action.

Je ne me suis pas contenté des résultats qui précèdent, mais j'ai trouvé qu'il était important d'étudier avec quelques détails cette transmission des courants alternatifs des conducteurs solides aux liquides, soit en opérant comme je viens de l'indiquer, soit en interposant des diaphragmes métalliques dans des conducteurs liquides qui sont traversés par ces courants. Le paragraphe qui suit renferme les résultats de cette étude. — Dans le second paragraphe je reviens sur le phénomène que j'avais décrit dans mon précédent Mémoire, et dans lequel j'avais cru voir une espèce d'interférence des courants électriques ; je montre que ce phénomène, qui se manifeste quand on emploie simultanément des conducteurs liquides et métalliques pour transmettre des courants alternatifs, trouve son explication dans les résultats des observations précédentes. — Enfin j'expose, dans le troisième et dernier paragraphe, quelques expériences qui ont pour objet l'étude des effets chimiques que produisent les courants alternatifs, quand on les transmet dans une solution acide au moyen de fils métalliques homogènes, tantôt d'une nature, tantôt d'une autre.

---

§ I. *De l'influence qu'exerce sur les courants alternatifs leur transmission d'un conducteur solide dans un liquide.*

Les expériences suivantes ont été faites avec la même pile de 10 couples à force constante dont j'ai parlé plus haut, et dont le courant pouvait être continu ou alternatif à volonté. — Une auge de verre longue de 15 centimèt., large de 3 centimèt. et profonde de 2 centimèt., était remplie du liquide conducteur qu'on mettait dans le circuit au moyen de deux lames de platine placées aux extrémités de l'auge. Enfin on pouvait diviser le liquide qui remplissait l'auge en deux, trois ou quatre compartiments au moyen d'un, de deux ou de trois diaphragmes métalliques, qui étaient ajustés de façon à intercepter toute communication liquide entre les compartiments ainsi séparés. Le fil fin de platine du thermoscope était dans le circuit. — Comme il ne s'agit que d'effets comparatifs, j'indiquerai la hauteur du liquide dans le tube du thermoscope en millimètres, sans en conclure la température absolue dans chaque cas.

Auge pleine d'acide sulfurique étendu de 9 fois son volume d'eau :

Diaphragmes de platine.

	Hauteur du liquide.	
Courant continu sans diaphragme	48 mill.	Diff. 20 mill.
» avec 1 d. de platine	68 »	
Courant alternatif sans diaphragme	48 mill.	Diff. 6 mill.
— avec 1 d. de platine	54 »	

Un grand nombre d'expériences semblables ont constamment montré que la présence du diaphragme de platine occasionnait un refroidissement représenté par une différence de 20 mill. de hauteur dans le liquide du thermoscope, quand le courant était continu, et seulement de 6 mill. quand il était alternatif.

Diaphragmes de cuivre.

	Hauteur du liquide.	
Courant continu sans diaphragme	129 mill.	Diff. 15 mill.
— avec 1 diaph.	133 »	
— avec 2 diaph.	137 »	
— avec 3 diaph.	144 »	
Courant alternatif sans diaphragme	115 mill.	Diff. 4 mill.
— avec les 3 diaph.	119 »	

Dans une autre expérience :

Courant continu sans diaphragme	133 mill.	Diff. 11 mill.
— avec les 3 diaph.	144 »	
Courant alternatif sans diaphragme	126 mill.	Diff. 2 mill.
— avec les 3 diaph.	128 »	

Après plusieurs expériences, il n'y avait plus de différence sensible entre la hauteur du liquide thermoscopique, quand les trois diaphragmes de cuivre étaient placés, ou quand ils n'y étaient pas, si le courant était alternatif ; il y en avait toujours une de 11 à 13 mill., si le courant était continu.

La surface de la partie des diaphragmes de cuivre qui était en contact avec le liquide, prenait un aspect pulvérulent et rougeâtre, dû à la succession d'oxidations et de réductions qu'elle avait éprouvée.

Des diaphragmes d'*étain* ont présenté le même résultat que ceux de cuivre.

	Hauteur du liquide.	
Courant continu sans diaphragme	115 mill.	Diff. 12 mill.
— avec 1 diaph.	119 »	
— avec 2 diaph.	124 »	
— avec 3 diaph.	127 »	
Courant alternatif sans diaphragme	106 mill.	Diff. 0 mill.
— avec 1, 2 et 3 dia.	106 »	

Un diaphragme de *cadmium* ne produisait aucun changement dans l'intensité du courant alternatif; il produisait 2 à 3 mill. de différence avec le courant continu.

J'ai aussi fait usage de diaphragmes de *zinc*, mais le dégagement considérable de gaz qui a lieu sur les deux surfaces, avec les courants alternatifs aussi bien qu'avec les continus, rend les observations peu sûres. Toutefois leur effet m'a paru être le même que celui des diaphragmes de cadmium.

Un diaphragme de *plomb* a présenté un phénomène singulier.—Avec le courant continu, il affectait de 13 mill. la hauteur du liquide thermoscopique, presque autant qu'un diaphragme de platine; et avec les courants alternatifs, son action interceptante, loin de diminuer, a augmenté, car au lieu de 13 mill. c'est de 26 mill. que le liquide thermoscopique est remonté dans le tube. La différence remarquable que présente le diaphragme de plomb, comparé aux autres, serait-elle due à la formation d'une couche blanchâtre, qui a lieu sur les deux surfaces également quand on emploie les courants alternatifs, et qui n'a lieu que sur la surface où se dégage l'oxigène quand on emploie le courant continu? Cette couche blanchâtre rendrait la transmission du courant plus difficile sur une des faces seulement, dans le premier cas, et sur les deux également, dans le second. Voilà pourquoi on aurait une diminution d'intensité représentée d'abord par 13 mill., et ensuite par 26. Cette couche semblerait être un protoxide ou sous-oxide de plomb, et non un sulfate, car elle se forme également et produit les mêmes effets, quand on remplace l'acide sulfurique étendu de 9 fois son volume d'eau, par de l'acide nitrique étendu d'environ moitié seulement son volume d'eau.

Le phénomène que présente l'emploi du diaphragme de plomb, semblerait prouver que l'oxide de ce métal n'est pas, comme ceux des autres métaux, réductible par l'hydrogène naissant; c'est ce qui fait qu'il persiste avec les courants alternatifs, tandis que la surface oxidée des autres métaux est ré-

duite par l'hydrogène qui succède immédiatement à l'oxigène, et présente l'aspect pulvérulent que nous avons déjà signalé plus d'une fois. Nous aurons occasion plus loin de revenir sur cette particularité que présente le plomb.

J'ai fait encore quelques essais analogues à ceux qui précèdent, en substituant pour les autres diaphragmes, comme je l'avais fait pour ceux de plomb, l'acide nitrique mélangé avec un volume d'eau égal au sien, à l'acide sulfurique étendu. Les résultats ont été les mêmes, mais l'action chimique trop vive qui avait lieu dans la plupart des cas, rendait les observations moins faciles et moins bonnes. Les diaphragmes de platine ont présenté avec les courants continus un phénomène auquel je devais m'attendre, vu que je l'avais observé précédemment [1]. Ils commençaient par diminuer sensiblement l'intensité du courant transmis, lorsqu'on les mettait tous les trois, puisqu'ils faisaient remonter le liquide thermoscopique de 40 mill. environ; puis tout d'un coup ce liquide redescendait d'abord de 5, puis de 10, et enfin de 15 mill., de manière que l'effet des trois diaphragmes n'était plus que de 25 mill.; mais alors il n'y avait plus de dégagement gazeux sur les faces négatives des diaphragmes, l'acide nitreux y remplaçait l'hydrogène qui s'était développé dans le premier moment, et rendait ainsi plus facile la transmission du courant. Substituant alors aux courants continus les courants alternatifs, on voyait au premier moment le liquide thermoscopique remonter, ce qui indiquait que le passage était moins facile; mais peu à peu ce liquide redescendait, et finissait par s'arrêter à 15 ou 20 mill. environ.

Ainsi avec cette solution de parties égales d'acide nitrique et d'eau, l'effet des diaphragmes était plus prononcé dans le cas des courants alternatifs, qu'avec la solution d'acide sulfurique. Il résulte des expériences qui précèdent, que l'effet interceptant des diaphragmes métalliques, ou généralement que la di-

[1] Ann. de Phys. et de Ch., t. XXXVII, p. 251.

minution d'intensité qu'éprouve l'électricité en mouvement par son passage d'un conducteur liquide dans un métallique, est due aux obstacles que présente à ce passage la formation de dépôts sur les surfaces métalliques où se dégagent les produits de la décomposition. C'est surtout l'oxidation de la surface qui forme le plus grand obstacle. Aussi si l'oxide se dissout facilement dans le liquide, comme cela a lieu avec des diaphragmes de zinc, de cadmium, etc., l'obstacle au passage est à peu près nul. S'il disparaît par l'emploi des courants alternatifs, de même la transmission devient très-facile. C'est ce qui arrive par exemple avec le platine, dont la surface, qui s'oxide lorsqu'elle est le lieu où se dégage l'oxigène, transmet ainsi difficilement le courant, tandis qu'elle le transmet très-facilement dès qu'elle est réduite par le dégagement de l'hydrogène qui, par l'emploi des courants alternatifs, succède immédiatement à l'oxigène.

L'explication que je viens de donner de l'effet des diaphragmes métalliques se trouve encore être confirmée, en ce qui concerne le platine, par l'emploi d'une solution d'hydrochlorate d'ammoniaque, comme liquide conducteur, en remplacement de l'eau acidulée. L'action alternative du chlore et de l'hydrogène sur le platine est telle que le passage du courant devient très-facile ; ainsi la présence d'un diaphragme de platine, ne modifiait plus que de 2 mill. la hauteur du liquide thermoscopique.

Enfin j'ai voulu répéter les mêmes expériences avec les courants alternatifs produits par induction, au moyen de l'appareil de Clarke (courants magnéto-électriques), et j'ai obtenu des résultats encore plus frappants, tellement que je suis parvenu à annuler complétement l'action interceptante même des diaphragmes de platine, en donnant une grande étendue à la surface du diaphragme, et en faisant succéder les courants alternatifs les uns aux autres avec une très-grande rapidité.

Je me sers dans ce but d'une grande capsule de platine, large de 12 centimètres : je la remplis d'eau acidulée, et je plonge

dans cette eau un disque de platine de 5 centimètres de diamètre. Les courants alternatifs traversent cet appareil et le galvanomètre calorifique. J'interpose, entre le disque et la capsule de platine, une capsule d'un diamètre moindre, tantôt de platine, tantôt d'argent, tantôt de cuivre. J'aperçois bien quelque légère diminution d'intensité par l'interposition de la capsule de platine; le liquide thermoscopique remonte de 1 à 2 mill. au plus; toutefois lorsque les courants ont passé longtemps, et que les deux surfaces de la capsule de platine interposée, ont par conséquent acquis plus de facilité à s'oxider et se désoxider, la température du thermoscope finit par ne plus changer par l'effet de la présence de cette capsule; elle reste stationnaire dès le commencement, quand c'est la capsule de cuivre ou celle d'argent qu'on interpose. Du reste, pour réussir dans ces expériences, il faut faire tourner l'appareil de Clarke avec une grande vitesse, de manière qu'il y ait au moins 40 courants alternatifs par seconde. Dès que la succession de ces courants devient moins rapide, l'effet des diaphragmes, même dans ce cas, commence à être sensible.

Il résulte de ce qui précède que, ainsi que je l'ai remarqué déjà dans la première partie de ce Mémoire, le dissentiment qui existe entre M. Lenz et moi, au sujet de l'influence des diaphragmes, tient à ce que ce physicien a opéré avec des courants instantanés, et dirigés constamment dans le même sens. S'il s'était servi de courants alternatifs, il n'aurait point contesté l'exactitude de mes premières recherches, exactitude qui est pleinement confirmée par les nouvelles expériences que je viens de rapporter.

On peut conclure des recherches contenues dans ce paragraphe:

1°) Que l'effet des diaphragmes métalliques sur la transmission de l'électricité dans un liquide conducteur devient nul ou à peu près nul quand les courants électriques, au lieu d'être continus, sont alternatifs, qu'ils se succèdent très-rapidement,

et que la surface de contact entre le liquide et le conducteur solide est étendue.

2°) Que cette nullité d'effet provient de ce que, avec les courants alternatifs, il ne peut se former par la décomposition du liquide ni dépôt, ni nouveau composé, sur les surfaces métalliques qui transmettent les courants dans le liquide, vu que ces surfaces recevant alternativement les éléments contraires, l'effet des uns est immédiatement neutralisé par celui des autres. Et si cette neutralisation ne peut pas avoir lieu, comme dans le cas du plomb, alors l'influence interceptante des diaphragmes devient très-considérable.

3°) Que la résistance qu'éprouvent les courants continus à passer d'un conducteur solide dans un liquide et réciproquement, est par conséquent due à la formation des dépôts et des nouveaux composés que la décomposition du liquide détermine sur la surface du solide ; ce que prouve déjà le fait que, même avec ces courants, les conducteurs solides dont les oxides sont solubles et dont la surface reste libre de tout dépôt, rendent la transmission de l'électricité beaucoup plus facile.

4°) Que l'idée que j'avais moi-même énoncée en 1825[1], de comparer l'effet des diaphragmes sur l'électricité en mouvement dans un liquide à celui qu'exercent des écrans sur la lumière et le calorique rayonnant, doit être abandonnée ; que cet effet n'est, dans le premier cas, qu'un phénomène de conductibilité, tandis que dans le second cas il est lié intimement, comme l'ont montré les belles expériences de M. Melloni, avec la nature même de l'agent rayonnant.

[1] Ann. de Ch. et de Phys., t. XXVIII, p. 213.

---

§ II. *De l'espèce d'interférence à laquelle donne lieu l'emploi simultané d'un conducteur liquide et d'un conducteur solide, pour conduire les courants instantanés.*

J'ai rappelé dans la première partie de ce Mémoire (§ VI.) le phénomène dont il s'agit ; j'ai indiqué la cause probable pour laquelle M. Lenz n'avait pas réussi à le produire ; je viens maintenant l'étudier de nouveau, confirmer sa réalité par de nouvelles expériences et montrer qu'il est une conséquence des différents effets auxquels peut donner naissance l'emploi des courants alternatifs.

Je décrirai d'abord les différentes manières dont j'ai obtenu le phénomène fondamental et en quoi il consiste.

Une capsule de platine de 12 centimètres de diamètre renferme une solution acide, par exemple 9 parties d'eau mélangées avec 1 d'acide sulfurique en volume. Une sphère en platine de 1 centimètre de diamètre, ou un disque du même métal de 5 centimètres de diamètre, plonge dans le liquide de manière à ne point toucher métalliquement la capsule, mais à en être aussi rapproché que possible. On met dans le circuit des courants alternatifs de la machine de Clarke (courants magnéto-électriques) ce système de conducteurs ; le fil fin de platine du plus sensible des galvanomètres calorifiques est placé dans le même circuit. On fait tourner la machine à raison de 25 à 30 courants alternatifs par seconde. On voit aussitôt le liquide du thermoscope descendre rapidement ; on attend qu'il soit devenu stationnaire, ce qui n'a lieu qu'après un temps plus ou moins long, savoir lorsque les deux surfaces métalliques qui transmettent les courants dans le liquide, ne laissent plus échapper de gaz. Alors on réunit par un fil métallique de platine ou de cuivre la capsule et la sphère ou le disque de platine. Si le conducteur est gros et court, on voit le liquide

thermoscopique, qui était descendu de 25 centimètres environ, descendre encore de 5 à 10 millimètres ; s'il est long et mince, on voit au contraire le liquide thermoscopique remonter de 25, même de 30 à 35 millimètres ; ce qui indique que dans le premier cas l'addition du conducteur a augmenté l'intensité du courant qui traverse tout le circuit, que dans le second, au contraire, elle l'a diminuée. Enfin, en prenant un fil très-long et très-mince pour réunir la capsule avec le disque ou la sphère de platine, on n'aperçoit plus le moindre mouvement dans le liquide, ce qui prouve que l'addition de ce conducteur n'a rien changé à l'intensité du courant transmis.

J'ai fait cette expérience un très-grand nombre de fois, et toujours avec le même succès ; je l'ai montrée à plusieurs personnes qui en ont toutes constaté l'exactitude[1]. Je l'ai faite avec la solution d'acide sulfurique, avec celle d'acide nitrique, avec de l'acide nitrique à 40° de concentration ; il faut que le liquide soit bon conducteur, et par conséquent bien acide. — Quant aux longueurs relatives des fils métalliques qui donnent, en réunissant la capsule avec le disque ou avec la sphère, tantôt une augmentation d'intensité du courant, tantôt une diminution, tantôt un effet nul, elles dépendent dans les mêmes circonstances, de la nature et de la grosseur de ces fils, en d'autres termes uniquement de leur conductibilité électrique. J'ajouterai encore que je n'ai jamais pu obtenir avec un fil quelconque, en lui donnant une longueur quelconque, aucun autre résultat qu'un des trois que je viens de mentionner, savoir augmentation, diminution ou effet nul.

Pour bien analyser le phénomène, j'ai commencé par chercher quelles sont les conditions nécessaires à sa production. J'en ai trouvé deux essentielles. La première, c'est que les sur-

[1] MM. Marcet, Colladon, Melly et Süskind, qui ont bien voulu assister à plusieurs de mes expériences, et me suggérer souvent d'utiles idées, ont été plusieurs fois témoins de celle dont je parle.

faces de platine qui transmettent les courants dans le liquide soient, l'une et l'autre, assez grandes pour qu'il n'y ait aucun dégagement gazeux, et que la recomposition des deux gaz qui arrivent successivement sur les deux surfaces soit complète. Ainsi, j'ai essayé de remplacer la sphère ou le disque de platine par un fil de même métal de 1 millimètre de diamètre qui plongeait dans le liquide sur une longueur de 10 à 15 millimètres; je n'ai pas obtenu la moindre apparence des phénomènes que j'avais observés précédemment. Il est vrai qu'il y avait sur le fil un dégagement de gaz assez abondant, et le liquide du thermoscope-galvanomètre ne descendait que de 20 centimètres au lieu de 25 dont il descendait précédemment. En réunissant la capsule et le fil de platine par le même fil qui auparavant faisait remonter le liquide thermoscopique, je le faisais au contraire descendre, et en même temps le dégagement gazeux cessait d'avoir lieu sur le fil de platine; il recommençait aussitôt que j'interrompais la communication métallique, et le liquide du thermoscope remontait. Il est évident que, dans cette expérience, le fil métallique était meilleur conducteur que le système de conducteurs liquide et solide avec lequel on le plaçait parallèlement dans le circuit; c'est ce dont on pouvait d'ailleurs s'assurer directement. Il faut donc, pour que le phénomène qui nous occupe puisse être produit, que les surfaces métalliques en contact avec le liquide soient assez grandes, et le liquide lui-même assez bon conducteur, pour que leur ensemble conduise mieux les courants que le fil métallique dont on fait usage pour réunir ces deux surfaces.

Une seconde condition qui m'a paru également nécessaire, c'est que les deux surfaces, tout en étant du même métal, ne soient pas identiques; il faut, comme dans les expériences que j'ai rapportées plus haut, que l'une soit plus grande que l'autre; il est également avantageux que l'une ait servi plus longtemps que l'autre, et que par conséquent elles ne soient pas également polies. Ainsi, j'ai très-bien réussi en mettant une couche

d'acide nitrique soit concentré, soit étendu, ou une couche d'acide sulfurique étendu, de 3 à 4 millimètres d'épaisseur, entre deux capsules de platine dont l'une avait sa surface intérieure et l'autre sa surface extérieure en contact avec le liquide. Ces deux surfaces étaient presque de même étendue; mais la première était terne et présentait en plusieurs places une apparence pulvérulente, ayant déjà beaucoup servi à conduire les courants alternatifs, tandis que la seconde offrait un aspect brillant et poli. J'obtenais avec ce système de conducteurs, quand je réunissais les deux capsules métalliquement par un fil suffisamment long, un refroidissement du thermoscope qui faisait remonter la colonne liquide de 15 à 20 millimètres. Par contre, avec deux lames de platine de 25 à 30 centimètres carrés de surface chacune, plongées dans le liquide de manière à comprendre entre elles une couche de même épaisseur que la couche qui était comprise entre les deux capsules, et à présenter la même surface de contact avec le liquide, je n'obtenais que 5 à 7 millimètres d'élévation du liquide thermoscopique, dans les mêmes circonstances où j'en obtenais 15 à 20 avec les deux capsules. Il faut remarquer que les deux lames avaient été décapées l'une et l'autre avec beaucoup de soin et paraissaient être presque identiques.

Après être parvenu, par un grand nombre d'expériences, à reconnaître la nécessité des deux conditions que je viens d'énoncer, il m'est venu l'idée que l'espèce d'interférence que j'avais observée et que j'avais de nouveau vérifiée, pouvait être due à l'effet d'un courant hydro-électrique qui s'établissait entre les deux surfaces de platine en contact avec le liquide conducteur, et qui s'opposerait à la facilité de transmission des courants magnéto-électriques.

Les courants magnéto-électriques traversent sans difficulté le système de conducteurs formé par les deux lames de platine et le liquide, c'est-à-dire que cette partie de leur circuit n'offre pas plus d'obstacles à leur transmission, ou en offre plutôt

moins, que toute autre ; c'est la première condition pour que le phénomène ait lieu. On réunit par un fil métallique les deux surfaces de platine ; on n'augmente pas sensiblement l'intensité des courants transmis, à moins que le fil ne soit très-gros et très-court ; dans ce cas on voit quelquefois cette intensité augmenter légèrement ; seulement les courants magnéto-électriques peuvent se partager entre le système des conducteurs liquides et métalliques, et le fil métallique, au lieu de ne passer que par le premier. Ils arrivent donc par deux voies, au lieu d'arriver par une seule, au fil de platine du thermoscope qui est placé dans le circuit. Mais si on allonge le fil métallique de manière à le rendre beaucoup moins bon conducteur pour les courants alternatifs que le système de conducteurs solides et liquides qui reste invariable, résultat qui est facilement obtenu ainsi que le prouve l'expérience décrite, ces courants ne le traversent presque plus et passent entièrement par les deux surfaces de platine et le liquide qui est interposé entre elles [1]. Mais alors ce fil métallique lui-même, en réunissant les deux lames de platine dont les surfaces éprouvent à chaque instant une double action chimique par l'effet de l'oxidation et de la réduction successives auxquelles elles sont exposées, sert à établir un couple hydro-électrique, et doit être constamment traversé par les courants qui résultent de ces actions chimiques. Ces courants doivent être alternatifs comme les actions chimiques qui les développent, mais ils ne seraient égaux que si les lames étaient parfaitement homogènes. Or, dans le cas qui nous occupe, cette homogénéité n'existe pas, puisque la non-identité des lames est la seconde

[1] Il faut remarquer que les courants magnéto-électriques qui sont alternatifs, et qui cheminent dans un circuit tout métallique, sont beaucoup plus affectés que les courants voltaïques ordinaires, par la présence d'un conducteur imparfait. Il n'est donc pas étonnant qu'ils préfèrent suivre presque en totalité la voie du conducteur mixte, solide et liquide, que celle qui est beaucoup moins conductrice pour eux, du long fil métallique.

condition indispensable pour que l'espèce d'interférence que nous avons signalée puisse avoir lieu. Dès lors, il y a un courant hydro-électrique entre les deux lames de platine, et ce courant doit déterminer sur les surfaces de ces lames ces dépôts minces (les mêmes qui donnent naissance aux courants secondaires), dépôts qui rendent moins facile la transmission des courants.

Ainsi, les courants magnéto-électriques passent moins facilement, et par conséquent indiquent au galvanomètre calorifique une intensité moindre, quand les deux surfaces de platine sont réunies par un fil métallique, parce que la présence de ce fil permet à un courant hydro-électrique de s'établir entre ces deux surfaces à travers le liquide, et que ce courant occasionne sur ces surfaces des modifications qui sont une cause de résistance pour les courants principaux.

L'examen des faits paraît confirmer tout à fait cette explication. Il suffit, pour s'en assurer, de se servir pour réunir métalliquement les deux surfaces de platine, du fil d'un galvanomètre magnétique d'une sensibilité médiocre. L'addition de ce fil faisait remonter immédiatement de 30 millimètres le liquide du thermoscope dont le fil de platine était dans le circuit général; et en même temps l'aiguille du galvanomètre magnétique indiquait un fort courant. Ce courant avait tantôt un sens, tantôt un autre; mais il était constamment plus fort dans une des deux directions que dans l'autre. On pourrait croire que ce courant était un courant dérivé, provenant de l'appareil de Clarke, et qui se bifurquait entre les deux systèmes de conducteurs, le système mixte solide et liquide, et le système tout métallique, savoir le fil lui-même du galvanomètre magnétique. Ce qui prouve qu'il n'en était rien et que le courant en question était bien un courant ayant une origine hydro-électrique, telle que nous l'avons expliqué, c'est que si on réunissait les deux surfaces de platine métalliquement au lieu de laisser entre elles le liquide, le courant en question ne traversait plus le fil du gal-

vanomètre, quoique les deux lames de platine réunies métalliquement ne conduisissent pas mieux les courants magnéto-électriques que lorsque la couche liquide était entre elles, ainsi que le prouvait l'indication du galvanomètre calorifique placé toujours dans le circuit général.

D'un autre côté, je réunis les deux surfaces de platine par les fils successifs de deux galvanomètres; l'un des fils était très-long et très-fin. Je n'eus sur aucun des deux galvanomètres l'indication d'un courant sensible, les aiguilles déviaient à peine de 2° à 3°, et le thermoscope, placé dans le circuit général des courants magnéto-électriques, n'était nullement affecté par l'addition de ce conducteur. Il est probable que cette circonstance que j'avais déjà constatée en employant un fil très-long et très-fin, autre que celui d'un galvanomètre, tient à ce qu'un semblable fil est un conducteur très-imparfait pour conduire le courant hydro-électrique, qui est dû aux actions chimiques qu'éprouvent les lames de platine.

J'ai remplacé le fil de métal qui me sert à réunir les deux surfaces de platine par une petite pile à 4 éléments, afin de déterminer directement sur ces surfaces, par l'effet du courant de cette pile, le dépôt auquel j'attribue la résistance que montrent les courants magnéto-électriques. En effet, l'intensité de ces courants diminuait aussitôt, et le liquide du thermoscope remontait de 10 à 15 mill. Si à la petite pile je substituais deux lames de platine placées très-près l'une de l'autre dans une solution acide, et que ce conducteur mixte fût employé à réunir les deux surfaces de platine, loin d'avoir une diminution dans l'intensité des courants magnéto-électriques, il y avait plutôt augmentation, lorsque l'addition de ce conducteur produisait quelque effet. C'est que dans ce cas, il n'y avait circulation d'aucun courant hydro-électrique, ni d'une espèce ni d'une autre, et par conséquent il ne pouvait y avoir formation d'aucun dépôt.

J'ajouterai en terminant, que les courants d'une pile à force

constante, rendus alternatifs par le commutateur, ne m'ont point présenté, comme les courants magnéto-électriques, les phénomènes que je viens de décrire; du moins, jusqu'ici je n'ai pu les observer. J'attribue ce résultat négatif à ce que la pile qui produit dans ce cas les courants, est un conducteur beaucoup plus imparfait que le fil métallique dans lequel les autres sont développés. Il en découle deux conséquences : la première, c'est que la cause de résistance qui naît de la formation des dépôts sur les surfaces de platine, doit être beaucoup moins sensible ; la seconde, c'est que l'addition du fil métallique qui détermine le courant entre les deux surfaces de platine, doit en même temps faciliter la transmission des courants alternatifs provenant de la pile, qui en est une source inépuisable, et d'autant plus abondante que ses pôles sont réunis par des conducteurs meilleurs et plus nombreux. Dès lors le galvanomètre calorifique doit indiquer plutôt une augmentation qu'une diminution dans l'intensité des courants qui traversent tout l'ensemble du circuit. Or c'est précisément ce qui a lieu.

En résumé, quand des courants alternatifs traversent un circuit dans lequel se trouvent deux lames de platine plongées très-près l'une de l'autre dans un liquide acide, l'intensité de ces courants, conclue du réchauffement d'un fil fin de platine qui fait partie du circuit, diminue si l'on réunit les deux lames par un fil métallique moins bon conducteur que la couche liquide, et pourtant assez conducteur pour déterminer la formation d'un couple. Il faut, pour obtenir cet effet, que ces deux lames soient assez étendues pour que les courants alternatifs les traversent sans déterminer de dégagement gazeux, et qu'elles ne soient pas identiques, afin de rendre possible la formation d'un courant hydro-électrique. Le dépôt que ce courant détermine sur les surfaces de platine paraît devenir une cause de résistance pour la transmission de courants alternatifs; et on peut lui attribuer la diminution d'intensité que ces courants éprouvent au moment où l'on ajoute le fil métallique qui réunit ces deux surfaces.

§ III. *Effets chimiques qui résultent du passage des courants alternatifs à travers un liquide acide, au moyen de deux fils métalliques homogènes.*

Je me suis d'abord assuré qu'on pouvait obtenir tous les phénomènes chimiques que j'avais produits par l'emploi des courants magnéto-électriques, en faisant usage du courant d'une pile rendu alternatif au moyen du commutateur. — C'est ainsi que non-seulement des fils, mais des lames de platine ont acquis bien vite une surface pulvérulente, après avoir transmis pendant quelques minutes, dans une solution acide, les courants alternatifs d'une pile de 10 éléments. Après m'être assuré de cette identité entre les effets de ces derniers courants, et les effets des courants magnéto-électriques, j'ai préféré faire usage de ceux-ci pour les expériences qui suivent; j'avais plus de garantie que ces courants, pourvu que je fisse cheminer la machine de Clarke toujours avec la même vitesse, auraient constamment la même intensité. J'ai également employé comme galvanomètre calorifique, le thermomètre de Breguet, dont les indications sont plus comparables entre elles, que celles des autres appareils. J'en ai justifié l'emploi plus haut, soit par le raisonnement, soit en montrant qu'en fait, les résultats qu'il m'a donnés ont toujours été d'accord avec ceux que m'a fournis le réchauffement d'un fil de platine qui traverse la boule d'un thermoscope à air.

Je passe maintenant à la description des résultats que j'ai obtenus en opérant avec deux fils homogènes, tantôt d'une nature, tantôt d'une autre.

Les deux fils destinés à transmettre les courants dans le liquide, conducteur ont été introduits verticalement par deux trous percés au fond d'un verre, qu'on remplissait ensuite du liquide, et on a eu soin de les assujettir avec de la cire. Ils

avaient 4 centimètres de longueur, et étaient à une distance de 1 centimètre l'un de l'autre. On a introduit ainsi successivement des fils de différente nature, et on a employé avec chaque espèce de fil de l'eau acidulée, tantôt avec de l'acide nitrique, tantôt avec de l'acide sulfurique. La proportion de chaque acide a constamment été d'un dixième du volume total. L'hélice du thermomètre de Breguet faisant office de galvanomètre calorifique, était dans le circuit, et un eudiomètre gradué recevait en entier les gaz dégagés sur les fils, de manière qu'il était facile d'en déterminer exactement le volume, et de les faire ensuite détoner.

Deux fils de platine dans de l'eau acidulée avec de l'acide nitrique ont donné lieu à un dégagement gazeux qui a été constamment en diminuant. Dans les premières 5 minutes, il était de 1p, 5, et le galvanomètre calorifique marquait 20°; au bout de 20 minutes, il n'y eut plus dans 5 minutes que 0p, 7 de gaz dégagé, et le galvanomètre calorifique marquait 33°. Au bout de 40 minutes, il ne s'est plus dégagé que 0p, 05 de gaz dans 5 minutes, et le dégagement a bientôt complétement cessé; le galvanomètre calorifique marquait alors 35°, et les fils de platine étaient entièrement recouverts de la poudre noire formée par le platine divisé. On a fait à plusieurs reprises détoner le mélange, et à la fin on a trouvé un résidu de 0p, 65 sur 7 pouces de gaz qu'on avait obtenus en totalité. Ces 0p, 65 qui n'ont pas disparu, et qui formaient environ la dixième partie du tout, renfermaient 0,50 d'oxigène, et 0,15 d'azote, il n'y avait pas un atome d'hydrogène. Il est probable que l'oxigène provient de ce que le platine, surtout lorsqu'il est en poudre fine, s'oxide légèrement dans l'eau acidulée par l'acide nitrique, et que l'hydrogène de l'eau décomposée par les courants étant en partie employé à réduire cet oxide, il en résulte que le mélange gazeux présente une proportion d'oxigène plus forte que celle qui constitue l'eau. Quant à l'azote, il proviendrait de ce qu'une partie de l'acide nitrique, mélangée avec

l'eau, est toujours décomposée, ou de ce qu'il y a peut-être de l'air qui est mélangé avec l'eau.

La même expérience a été faite avec l'eau acidulée avec de l'acide sulfurique au lieu d'acide nitrique. Le volume du gaz dégagé a d'abord été de 1p.,4 par 5 minutes, et n'a plus été au bout de 40 minutes, que de 0p.,5 dans le même temps, c'est-à-dire dans 5 minutes, puis il a complétement cessé. Le galvanomètre calorifique marquait alors 50°. Le résidu gazeux qui est resté après qu'on a fait successivement détoner le mélange, n'a été que de 0p.,30, dont 0p.,15 environ d'hydrogène, et le reste d'azote. Ce résultat prouve que les fils de platine s'oxident aux dépens d'une partie de l'oxigène qui provient de la décomposition de l'eau, ce qui explique l'excès de l'hydrogène; et quant à l'azote, il est probable qu'il provient de l'air que renferme nécessairement le liquide.

Des fils d'or substitués aux fils de platine ont donné des résultats analogues. Voici seulement les différences: dans l'eau acidulée avec l'acide nitrique, le dégagement gazeux n'a point été en diminuant aussi rapidement qu'avec les fils de platine; dans les premières 5 minutes, il était de 1p.,40, et le galvanomètre calorifique marquait 21°; au bout de 40 minutes il a encore été de 0p.,90, et le galvanomètre calorifique ne marquait que 27°; en continuant l'expérience plus longtemps, on n'a pas trouvé que le dégagement gazeux diminuât, ni que la température indiquée par le galvanomètre calorifique augmentât. Après avoir fait successivement détoner les produits gazeux, on a trouvé un résidu de 0p.,40, dont 0,20 d'oxigène et le reste d'azote. Ce résidu n'a pas augmenté lors même qu'on a fait durer l'expérience plus longtemps. Ce fait semblerait indiquer que le résidu provient bien, en ce qui concerne l'azote, de l'air renfermé dans le liquide, et quant à l'oxigène, de ce qu'une partie de l'hydrogène de l'eau décomposée est employée à désoxider les fils, qui probablement sont déjà légèrement oxidés au commencement de l'expérience.

Les fils d'or dans l'eau acidulée avec l'acide sulfurique ont donné des résultats beaucoup plus semblables à ceux qu'avaient donnés les fils de platine. Ainsi le dégagement gazeux qui était de 1p.,1 dans les premières 5 minutes, est devenu presque nul au bout de 40 ; le galvanomètre calorifique marquait 44° à la fin de l'expérience. Le résidu qui n'a pas détoné, était de 0p.,22, dont 0,16 d'hydrogène et 0,6 d'azote.

Deux fils d'argent disposés de la même manière que les fils de platine et d'or, et plongés dans de l'eau acidulée avec de l'acide sulfurique, n'ont pas dégagé une quantité appréciable de gaz ; le galvanomètre calorifique a, par contre, constamment marqué 50°.

Deux fils de cuivre placés dans les mêmes circonstances donnaient par intermittences un dégagement gazeux ; et le galvanomètre calorifique indiquait 43° à 46° suivant qu'il y avait plus ou moins de gaz dégagé. La quantité du gaz dégagé était trop peu considérable pour que ce gaz pût être analysé ; c'était probablement de l'hydrogène pur, vu que l'oxigène était employé à oxider la partie du cuivre qui se dissolvait dans l'eau acidulée. Les fils eux-mêmes paraissaient, à en juger par leur couleur, légèrement oxidés à leur surface.

Du reste les fils de cuivre et ceux d'argent présentaient, après que les courants magnéto-électriques avaient passé pendant quelque temps, une surface pulvérulente tout à fait analogue à celle qu'avaient présentée les fils d'or et de platine.

On a fait les mêmes expériences avec deux fils de plomb de même longueur et de même diamètre que les précédents et disposés comme eux. Le liquide conducteur dont on a fait usage était également de l'acide sulfurique étendu de 9 fois son volume d'eau. Il n'y avait, comme dans les cas précédents, aucun dégagement de gaz par l'action directe de l'eau acidulée sur le plomb. En faisant passer les courants magnéto-électriques, on a obtenu 0p., 50 d'hydrogène dans 5 minutes. Le galvanomètre calorifique n'a jamais indiqué plus de 5° à 6°. Les fils de

plomb ne paraissaient nullement oxidés après l'expérience, mais pendant qu'elle durait on voyait se former un dépôt blanchâtre dans le liquide ; au bout de peu d'instants le liquide avait presque perdu toute sa transparence par la formation de ce composé insoluble qui restait en suspension.

Deux fils de fer placés également dans de l'eau renfermant la même proportion d'acide sulfurique, dégageaient par l'action directe de l'eau acidulée 0p., 07 d'hydrogène pur dans une minute. On a fait passer les courants magnéto-électriques : aussitôt il y a eu deux pouces d'hydrogène dans une minute également. Après avoir interrompu un moment l'expérience, on n'a plus obtenu que 1p., 40 dans une minute, quand on a fait de nouveau passer les courants, et que 0p., 04 sans les faire passer. Mais on a essuyé les fils, et aussitôt la quantité de gaz dégagée est redevenue ce qu'elle était en commençant. Le galvanomètre calorifique indiquait 33° quand les courants magnéto-électriques passaient.

Deux fils de zinc dans la solution d'acide sulfurique ont donné une grande quantité de gaz hydrogène par l'action directe de l'eau acidulée ; cette quantité n'a pas paru augmenter sensiblement quand les courants magnéto-électriques ont passé.

Deux fils de cadmium dans les mêmes circonstances ont donné des résultats tout différents : ils ne dégageaient presque point de gaz par l'action de l'eau acidulée ; ils n'en ont pas donné davantage quand les courants ont passé ; le galvanomètre calorifique indiquait alors 50°. Les fils de cadmium ont présenté des phénomènes tout à fait semblables à ceux qu'avaient offerts les fils de cuivre et d'argent.

Résumons en quelques mots les principales conséquences qu'on peut tirer des expériences qui précèdent.

Nous voyons d'abord que dans l'eau acidulée le platine paraît être plus facilement oxidable que l'or, surtout quand l'acide est l'acide nitrique. C'est en effet ce que paraît démontrer la cessation beaucoup plus rapide et beaucoup plus complète

du dégagement gazeux quand on se sert des fils de platine que quand on emploie les fils d'or. On aperçoit également que la couche pulvérulente dont les fils se recouvrent est beaucoup plus épaisse sur le platine que sur l'or.

Un second fait de quelque importance, c'est la régularité avec laquelle la température indiquée par le galvanomètre calorifique s'élève à mesure que le dégagement gazeux diminue. Cet effet tiendrait-il à ce que la quantité de calorique dégagée dans le circuit étant constante, plus il y a de gaz dégagé, plus il y a de chaleur absorbée par la formation des gaz, et moins il y en a dans le reste du circuit? ou bien tiendrait-il à ce que la série d'oxidations et de désoxidations, qui est d'autant plus prononcée qu'il y a moins de gaz dégagé, facilite la transmission des courants, et par conséquent leur effet calorifique dans l'hélice du thermomètre de Breguet? Cette dernière explication me paraît plus probable, car elle peut seule rendre compte du fait singulier que présente l'expérience faite avec les fils de plomb. Avec ces fils, quoiqu'il y ait peu de gaz dégagé, le galvanomètre calorifique n'indique que 5° à 6° au plus, au lieu de 30° à 40° qu'il indique quand on emploie les autres fils. Cette grande différence paraît tenir à ce que le courant passe difficilement des fils de plomb dans le liquide acide, probablement à cause de la formation, qui a lieu sur la surface de ces fils, de ce dépôt blanchâtre que nous avions déjà vu plus haut s'opposer, quand nous faisions usage de diaphragmes de plomb, à la transmission des courants alternatifs.

J'ajouterai encore sur ce sujet une remarque, c'est qu'un thermomètre ordinaire placé dans l'eau acidulée entre les fils métalliques, pendant le passage des courants, donne une température d'autant plus élevée que celle qui est indiquée par le galvanomètre calorifique est moindre. Ainsi ce thermomètre s'est élevé de 1° quand le galvanomètre calorifique a marqué 32°, de 0°,6 quand il a marqué 45°, et de 0°,4 quand il a marqué 50°.

Je n'insiste pas pour le moment sur la différence remarquable que présente l'emploi des fils de cadmium quand on le compare à l'emploi des fils de zinc, ni sur les conséquences qu'on peut tirer, sous le rapport chimique, des expériences que j'ai rapportées. Plus tard je reviendrai sur ces deux points. Je me borne à remarquer que le zinc que j'ai employé étant du zinc de commerce, il n'est pas étonnant que la quantité de gaz qui était dégagée même quand on ne faisait pas passer les courants magnéto-électriques, fût aussi considérable.

Je n'aborde pas aujourd'hui les recherches relatives à l'emploi simultané de fils métalliques de nature différente, pour conduire les courants alternatifs dans les liquides. Ce travail, quoique commencé, n'est point encore assez complet pour pouvoir être publié. Il touche d'ailleurs à un point important, et qui à lui seul mérite un examen attentif, savoir l'étude des phénomènes qui naissent de la simultanéité, dans le même circuit, des courants continus et des courants alternatifs. En effet, employer pour conduire ceux-ci dans un liquide, des conducteurs métalliques hétérogènes, c'est, en d'autres termes, les faire passer dans le circuit d'un couple hydro-électrique. Ce sujet dont je m'occupe dans ce moment, et qui se lie tout naturellement à la théorie chimique de l'électricité voltaïque, sera de ma part l'objet d'un Mémoire spécial que je ne tarderai pas à faire paraître.

OBSERVATION D'UN COUP DE TONNERRE ACCOMPAGNÉ DE SIFFLEMENT; EXPLICATION GÉNÉRALE DU BRUIT DE CE MÉTÉORE, par M. TESSAN, ingénieur-géographe. (*Compte rendu de l'Académie des Sciences*, du 5 mai 1841.)[1]

Dans la nuit du 18 au 19 septembre de l'année dernière (1840), vers minuit, étant sur la route d'Avignon à Remoulin, non loin de cette dernière ville, la voiture dans laquelle je me trouvais s'embourba au haut d'une montée, et là se trouva assaillie par un violent orage, qui passa et repassa jusqu'à trois fois au-dessus du point occupé par la voiture. Les éclairs, d'un éclat effrayant, se succédaient avec une extrême rapidité, et étaient presque instantanément suivis d'horribles coups de tonnerre, suivis eux-mêmes d'averses diluviennes.

Je me dépouillai prudemment de tout le métal que je pouvais avoir sur moi, dans la prévision que la voiture serait foudroyée, tant à cause de sa position élevée, que de la grande quantité de fer qui entrait dans sa construction. Tout à coup un éclair encore plus vif que les précédents, fait entendre un sifflement assez fort, accompagné d'un épouvantable fracas de tonnerre. L'éclair, le sifflement et le fracas me parurent simultanés, ainsi qu'aux deux personnes qui étaient avec moi dans le coupé; je crois, cependant, que c'est bien dans cet ordre-là que les sensations se succédèrent. Je ne doutais pas que la voi-

[1] Nous croyons être agréable à nos lecteurs, en transcrivant tout au long cette notice qui nous paraît contenir une des meilleures explications qu'on ait encore données du bruit du tonnerre et de la chute de la pluie qui, le plus souvent, suit immédiatement l'explosion de la foudre. (R.)

ture n'eût été foudroyée ; mais, comme il pleuvait à torrent, je ne pus, à regret, m'occuper de vérifier le fait.

On n'aperçut, toutefois, aucun dégât dans la voiture lors du déballage des effets des voyageurs, à Nîmes. La foudre a-t-elle trouvé un conducteur assez parfait dans la voiture ? ou bien a-t-elle frappé quelque arbre voisin ? C'est ce que je ne puis dire. Toujours est-il que les journaux de la localité (Avignon, Nîmes), en rendant compte des nombreux dégâts causés par cet orage, signalèrent la chute du tonnerre sur plusieurs points aux environs de celui que nous occupions.

Cette observation du sifflement de la foudre me paraît très-importante, en ce qu'elle vient à l'appui des objections déjà très-fortes que soulève la théorie de Robert Hook sur le bruit du tonnerre..........

La plupart des physiciens, et M. Poisson en particulier, dans sa *Théorie mathématique de l'électricité*, admettent que c'est la *répulsion mutuelle* des particules du fluide électrique, qui les fait se porter à la surface des corps conducteurs ; que les molécules de ces corps n'interviennent dans le phénomène que par la *libre circulation* qu'elles laissent à l'électricité ; que les molécules des corps conducteurs n'exercent directement ni attraction ni répulsion sur les particules du fluide électrique libre ; qu'il n'y a aucune adhérence entre ce fluide et elles. Ils admettent que l'électricité n'est retenue à la surface des corps conducteurs que par la résistance que le corps non conducteur ambiant (l'air sec) oppose à l'expansion indéfinie de l'électricité.

Il résulte de là que le corps conducteur n'intervient dans la distribution qui se fait du fluide électrique à sa surface, que par la forme que cette surface fait prendre au corps non conducteur ambiant ; que rien ne serait changé si l'on venait à anéantir le corps conducteur, en conservant seulement la forme de sa surface. La distribution de l'électricité resterait la même, ainsi que la pression qu'elle exerce de dedans en dehors sur le corps non conducteur ambiant, qui ne peut arrêter son expan-

sion indéfinie qu'en opposant de dehors en dedans une pression égale à la pression électrique dirigée en sens contraire.

Si donc on a deux corps conducteurs de forme exactement la même, et placés dans l'air atmosphérique sec à la pression ordinaire, et qu'on vienne à électriser l'un d'eux, celui-là éprouvera en chaque point de sa surface une pression moindre que l'autre resté à l'état neutre. Elle sera moindre de toute la force avec laquelle l'électricité presse l'air de dedans en dehors en ces mêmes points.

La pression atmosphérique que supporte le corps électrisé peut donc être considérablement diminuée ; elle peut même devenir nulle (ce qui a lieu dans les points d'où s'échappent des étincelles électriques). Puisqu'il n'y a aucune action, ni réaction, ni adhérence entre le fluide électrique et les molécules du corps conducteur, il en résulte que la surface de ce corps est réellement soulagée de toute la partie de la pression atmosphérique que supporte le fluide électrique.

Cette diminution de pression ne produit pas d'effet très-sensible sur les corps conducteurs ordinaires, qui sont tous ou solides ou liquides ; mais elle doit en produire de très-grands sur un corps conducteur gazeux, tel qu'un nuage. En effet, un pareil corps conducteur doit se dilater indéfiniment à mesure qu'on l'électrise davantage, puisque la pression à laquelle il est soumis extérieurement, diminue à mesure que sa charge électrique augmente, et que dès lors la force élastique du gaz conducteur intérieur n'est plus suffisamment équilibrée par la pression extérieure.

La dilatation du gaz conducteur devra être toujours telle que sa force élastique propre, ajoutée à la force d'expansion du fluide électrique, soit en chaque point égale à la pression atmosphérique extérieure.

On ne peut pas douter qu'un nuage ne soit un corps assez bon conducteur, puisque l'hygromètre s'y maintient à près de 100 degrés. On ne peut pas douter non plus que l'air transpa-

rent ambiant ne soit un corps mauvais conducteur, puisqu'il permet l'accumulation de quantités considérables d'électricité sur les nuages.

Les nuages doivent donc se dilater (et cela quelquefois de quantités énormes) quand ils viennent à être électrisés. Il doit résulter de cette dilatation, du froid et une diminution très-sensible de densité : deux choses très-utiles pour les théories de la grêle et de la suspension des nuages. La dilatation devant surtout se faire par les points où la charge électrique est le plus grande, et l'électricité se portant principalement vers les pointes, il doit en résulter que le nuage s'allongera toujours dans le même sens ; ce qui pourrait bien être la cause de la forme pyramidale des nuages orageux et de la formation des trombes tranquilles.

Si un nuage est chargé d'électricité, presque au point de donner des étincelles, sa dilatation sera très-considérable puisque en certains points la force d'expansion de l'électricité sera presque égale à la pression de l'air extérieur, et que par conséquent la force élastique propre du nuage sera presque nulle. Si dans cet état une forte étincelle électrique vient réellement à partir, le nuage sera, du moins en partie, déchargé de son électricité, et l'air extérieur n'étant plus retenu par la force expansive du fluide électrique qui lui faisait équilibre, se précipitera de toutes parts vers le nuage, surtout vers le point d'où a jailli l'étincelle ; ce qui devra produire *dans la région qu'il occupe un bruit très-fort et très-grave*, et déterminer en outre une grande précipitation de vapeur. N'est-ce pas là la cause du bruit du tonnerre et de l'averse qui le suit ?

Les états électriques des divers nuages qui composent un orage étant solidaires les uns des autres, la décharge de l'un d'eux doit souvent amener la décharge de plusieurs autres plus ou moins éloignés. D'ailleurs les différences de densité entre l'air extérieur et celui des nuages étant très-considérables à cause de la dilatation de ceux-ci, il doit en résulter, dans la région

qu'ils occupent, de très-fortes réflections et réfractions du son; ce qui causera et les éclats et le roulement du tonnerre.

Cette explication du bruit du tonnerre me paraît ainsi s'accorder parfaitement avec les cinq qualités que l'oreille lui reconnaît (éloignement, direction, timbre, intensité et ton); et comme elle repose sur une des propriétés les plus généralement reconnues de l'électricité, elle me semble parfaitement admissible.

Si une grande étendue d'air placée non plus dans la région des nuages, mais à la surface de la terre, se trouve dans un état électrique analogue à celui d'un nuage orageux (ce qui peut arriver sans que la température de cet air soit troublée, puisqu'il suffit qu'il soit très-chargé de vapeur d'eau dissoute), et que cette masse vienne tout-à-coup à perdre son électricité, l'air sec ambiant se précipitera de toutes parts vers l'espace occupé par l'air humide dilaté, et il devra en résulter, ce me semble, un véritable *ouragan tourbillonnant*.

L'état électrique des masses gazeuses de l'atmosphère, rendues plus ou moins conductrices par la vapeur d'eau visible ou invisible, me semble devoir occuper une place importante dans les causes des vents accidentels, par les variations subites et considérables de pression et de densité qui doivent en résulter.

RECHERCHES SUR LES CAUSES DE L'ÉLECTRICITÉ DES NUAGES, par M. PELTIER. (*Compte rendu de l'Académie des Sciences* du 8 février 1841.)[1]

Depuis l'application des appareils électriques mobiles à la météorologie, en 1752, plusieurs physiciens ont remarqué l'inégalité d'indication de ces instruments. Romas, Muschenbroek, le prince de Gallitzin, et surtout B. de Saussure, se sont aperçus que les électroscopes variaient dans leur marche suivant que l'instrument s'élevait ou s'abaissait. De Saussure, étudiant avec soin ces variations, y reconnut tous les signes du développement de l'électricité d'influence, et non ceux de l'électricité permanente que donne le contact; cependant, contrairement à sa propre observation, il en conclut que l'atmosphère était électrique. En nous dépouillant de toute idée préconçue, et en ne nous attachant qu'aux faits, leur coordination nous a conduit à une autre interprétation des phénomènes électriques de l'atmosphère.

On sait que les électromètres ne marquent que la différence qu'il y a entre la tension électrique de la tige supérieure et le milieu où plongent les feuilles d'or. On équilibre l'instrument en touchant le fond et la tige à la fois; les feuilles sont alors à zéro. Si la tige est surmontée d'une boule polie, on peut lais-

[1] M. Peltier a publié dernièrement un ouvrage remarquable sur les causes qui concourent à la formation des trombes, ouvrage qui fait partie du Traité de Météorologie électrique dont il s'occupe. Nous en rendrons compte dans notre prochain numéro; mais en attendant nous insérons le morceau détaché qu'on va lire, nous réservant de présenter plus tard quelques observations sur les idées de M. Peltier, que nous ne partageons pas en entier. (R.)

ser l'électromètre exposé à l'agitation de l'air sous un ciel serein, aussi longtemps qu'on le voudra, ou le promener de côté et d'autre, en le tenant à la même hauteur, sans qu'il manifeste le moindre signe d'électricité. Si la tige est terminée en pointe, il prend quelquefois un peu d'électricité après plus d'une heure; mais ce temps sera de beaucoup abrégé si l'on termine la tige par un faisceau de fils métalliques très-fins, ou par un corps incandescent, comme le faisait Volta. Dans le premier cas où l'instrument est resté muet, si on le soulève de quelques décimètres, les feuilles divergent aussitôt *positivement;* si on le replace à la hauteur de son équilibration, les feuilles retombent à zéro; si on le descend du même nombre de décimètres au-dessous de cette hauteur, les feuilles divergent, mais alors elles sont négatives; si l'on remonte l'instrument, elles retombent de nouveau à zéro. Ainsi, il suffit d'élever l'instrument pour avoir des signes positifs, et de le baisser pour en avoir de négatifs. Pouvant l'équilibrer à toutes les hauteurs, on peut le faire parler à volonté *positivement* ou *négativement* dans toutes les couches d'air. De Saussure a cherché l'explication de ce fait dans l'influence de l'électricité de l'air, oubliant que l'air, dans son agitation, donnerait sur-le-champ à l'instrument une électricité permanente et non une électricité transitoire. Du reste, on reproduit dans le cabinet les mêmes effets que sous un ciel serein, en opérant sous un globe isolé, suspendu au plafond, et électrisé positivement. De même, on reproduit le rayonnement facile de l'électricité d'influence, en remplaçant la boule polie par un faisceau de pointes ou par un corps enflammé.

Ces expériences démontrent que la terre agit comme un corps puissamment négatif, et l'espace céleste comme un corps puissamment positif, et que tous les corps interposés entre eux s'électrisent par influence et non par le contact de l'air. Nous ne pouvons trop protester contre les mots *positif* et *négatif* et les erreurs qu'ils font commettre chaque jour : forcé d'employer des termes en usage, nous n'y attachons pas d'autre

idée que celle d'indiquer les différents degrés du même phénomène.

Les appareils fixes, comme les fils horizontaux de Beccaria, ou les barres verticales ordinaires, ne peuvent dévoiler cette électricité d'influence pendant un ciel serein, ils n'obéissent qu'à l'influence des nues électriques; aussi leurs indications sont-elles dépendantes de l'état hygrométrique de l'air, comme Beccaria, Schubler, Read, Clarke, de Dublin, etc., l'ont remarqué, l'humidité de l'air facilitant leur rayonnement.

Il résulte de ces observations que, sous un ciel serein, l'atmosphère n'est pas électrique, que les instruments s'électrisent par influence et non par le contact de l'air. D'une autre part, nous avons déjà démontré que les vapeurs n'emportent d'électricité au moment de leur production, que lorsqu'elles sont brusquement séparées des dissolutions par de vives projections; que les vapeurs produites à des températures basses, ayant leur électricité neutralisée avant leur isolement du liquide, n'arrivent dans l'atmosphère qu'à l'état neutre. L'électricité des nuages ne provient donc pas de cette cause. Pour retrouver celle de la nature, nous devons opérer dans les mêmes circonstances qu'elle.

Nous avons trouvé que l'espace céleste était positif; l'eau à la surface du globe est conséquemment dans un état négatif, et l'évaporation se fait sous cette influence. Nous avons placé sous un globe positif un vase isolé rempli d'eau distillée ou non; la vapeur qui s'en est élevée fut négative, le reste du liquide positif et la quantité de vapeur croissait avec la puissance de l'influence électrique. Contrairement à ce qui a été dit, la vapeur qui s'élève à la surface du sol est conséquemment négative; aussi les instruments s'électrisent par influence d'autant moins que les vapeurs sont plus denses et enceignent mieux l'instrument d'une couche uniformément électrique; recevant l'influence négative de tous les côtés, comme dans une sphère électrisée, il n'y a pas de *différence* à manifester; il faut alors

dominer cette vapeur au moyen d'un cerf-volant pour retrouver l'influence positive de l'espace supérieur.

Lorsque les vapeurs élastiques ont été condensées en nues opaques par un refroidissement, et lorsque la température, se relevant ensuite, provoque une nouvelle évaporation, cette dernière se fait sous l'influence positive supérieure, c'est-à-dire que les premières vapeurs produites ont leur tension négative augmentée au détriment des couches inférieures du nuage, maintenues à l'état positif par l'influence terrestre : il en résulte que les premières vapeurs élastiques, formées dans cette seconde évaporation, sont fortement négatives, et les dernières formées sont devenues positives, puisque ces termes n'indiquent que des rapports. Lorsqu'un nouvel abaissement de température condense ces nouvelles vapeurs, les masses supérieures forment des nuages négatifs, et les masses inférieures des nuages positifs. Le phénomène se représente très-bien en faisant un nuage d'un nombre considérable de très-petites bulles de savon dans une capsule de verre isolée, et en le soumettant à l'action positive d'un globe. On voit les bulles supérieures s'allonger, s'élancer, se dissoudre et disparaître, en laissant le reste du nuage chargé d'électricité positive : si l'on fait le nuage négatif, la dissolution accroît de vitesse.

NOTICE SUR QUELQUES EXPÉRIENCES FAITES AVEC UNE FORTE PILE DE GROVE, par M. le Prof. A. DE LA RIVE.

J'ai profité d'une circonstance qui me mettait à même de monter une pile de Grove de 40 couples, pour faire avec cet appareil un certain nombre d'expériences, dont quelques-unes me paraissent être nouvelles. Je ne parlerai pour le moment que de celles qui sont relatives aux effets calorifiques et lumineux ; j'attendrai, pour parler de celles qui ont pour objet les effets chimiques, qu'elles soient plus complètes.

Je me suis d'abord assuré qu'on ne peut obtenir d'arc lumineux entre deux pointes de charbon, qu'après que les deux pointes ont été en contact et se sont réchauffées autour de ce point de contact. On peut alors, en les écartant graduellement, parvenir à avoir entre elles un arc lumineux long de trois centimètres. Avec une pile plus forte cet arc est encore plus long. Le charbon de bois qui, après avoir été fortement rougi, a été trempé au moyen de l'eau, est celui qui donne la lumière la plus belle. Le charbon de bois non trempé n'est pas assez bon conducteur de l'électricité pour pouvoir être employé dans cette expérience. Quant au *coke*, il réussit aussi bien que le charbon trempé, mais la lumière qu'il donne n'est pas si brillante, surtout pas si blanche que celle qu'on obtient avec le charbon de bois trempé ; elle est toujours un peu bleuâtre et passablement rouge.

Le transport des particules de charbon du pôle positif au négatif pendant que l'arc lumineux est produit est évident, mais il est surtout sensible dans le vide. On voit se former, dans la pointe de charbon positive, une cavité qui présente l'apparence d'un cône creux dans lequel pourrait pénétrer presque

exactement le cône solide que forme le dépôt des particules de charbon accumulées sur la pointe négative. Le phénomène est presque le même dans l'air, sauf que l'accumulation de charbon est moins forte sur la pointe négative, parce qu'une partie des molécules brûlent dans le transport; et la pointe positive ne présente qu'une surface plane au lieu d'une surface creuse. Ce dernier effet provient probablement de la combustion de l'enveloppe mince du cône creux qui devrait se former dans l'air aussi bien que dans le vide.

Il paraît très-probable que l'arc lumineux lui-même n'est que le résultat de l'incandescence des particules de charbon transportées d'un pôle à l'autre, incandescence qui dans l'air est accompagnée d'une combustion partielle, et qui a lieu sans combustion dans le vide. On voit presque à l'œil, lorsque le courant n'est pas très-fort, ces particules se mouvoir dans le sens indiqué. Ce transport ne peut avoir lieu, comme nous l'avons vu, que lorsque le charbon a été préalablement fortement chauffé, circonstance qui probablement en diminuant sa cohésion, facilite la disjonction des particules.

Le charbon n'est pas le seul corps qui présente le phénomène d'un arc lumineux entre deux pointes mises en communication avec les pôles. Le platine spongieux, aussi bien que le cuivre réduit par l'hydrogène en poudre impalpable et qui est tassé dans des tubes de verre, produisent le même effet que le charbon. Il paraît qu'il faut que la substance employée n'ait pas beaucoup de cohésion, afin que ses molécules puissent être facilement détachées par le courant.

Une condition indispensable pour le succès de l'expérience, c'est que la substance qui a peu de cohésion soit au pôle positif, peu importe qu'il y ait au pôle négatif ou une substance semblable, ou un corps qui ait beaucoup de cohésion, comme un morceau de métal forgé. Ainsi on peut avoir un arc lumineux de 1 ou 2 centimètres en mettant au pôle positif de l'éponge de platine, et au pôle négatif une boule du même mé-

tal forgé. On n'a qu'une étincelle très-courte en adoptant la disposition inverse. On voit, dans le premier cas, l'éponge de platine se creuser par l'effet du départ des particules métalliques, qui la quittent pour être transportées sur la boule qui est au pôle négatif. Il faut toujours, dans ces expériences comme dans celles où l'on emploie le charbon, que les pointes qui communiquent avec les pôles aient été mises en contact avant de pouvoir, en étant séparées, donner naissance à l'arc lumineux.

J'ai répété la belle expérience de l'influence de l'aimant sur l'arc lumineux qui s'échappe entre les pointes de charbon. Cette expérience fut faite pour la première fois par Davy ; mais la première idée en appartient à M. Arago, qui y avait été conduit par l'analogie que présente la lumière dont il s'agit avec celle de l'aurore boréale, et par l'observation qu'il avait faite dès longtemps que l'aurore boréale agit sur l'aiguille aimantée[1]. J'ai trouvé qu'en effet l'arc lumineux qui s'établit

[1] Voici la note que M. Arago avait publiée avant la lecture à la Société Royale du Mémoire de Davy, dans lequel l'illustre chimiste anglais rapportait l'expérience de l'action de l'aimant sur l'arc lumineux de la pile :

« Les expériences de M. Œrsted me paraissent pouvoir être répétées dans une circonstance qui ajouterait encore à l'intérêt qu'elles doivent inspirer, en nous faisant faire un pas de plus vers l'explication du phénomène, jusqu'ici si incompréhensible, des aurores boréales.

« Il existe, à l'Institution royale de Londres, une pile voltaïque composée de 2000 doubles plaques de quatre pouces en carré. En se servant de ce puissant appareil, sir Humphry Davy a reconnu qu'il se produit une décharge électrique entre deux pointes de charbon adaptées aux extrémités des conducteurs positif et négatif, alors même que ces pointes sont encore distantes l'une de l'autre de 1/30 ou 1/40 de pouce. Le premier effet de la décharge est de rougir les charbons : or, aussitôt que l'incandescence est établie, les pointes peuvent être graduellement éloignées jusqu'à quatre pouces, sans que pour cela la lumière intermédiaire se rompe. Cette lumière est extrêmement vive, et plus large dans son milieu qu'à ses extrémités : elle a la forme d'un arc.

« L'expérience réussit d'autant mieux que l'air est plus raréfié. Sous

non-seulement entre deux pointes de charbon, mais aussi entre deux pointes de platine spongieux, ou entre deux agglomérations de cuivre en poudre, était influencé par un aimant, tantôt attiré, tantôt repoussé, suivant le pôle de l'aimant. L'attraction ou la répulsion s'exerce sur les molécules elles-mêmes qui, quoique très-espacées, peuvent conduire le courant; et ce qui le prouve, c'est que si l'attraction ou la répulsion les éloigne trop les unes des autres, alors le courant ne passe plus et l'effet lumineux cesse. On peut ainsi facilement faire disparaître l'arc lumineux, en faisant mouvoir l'aimant.

Je ne terminerai pas cette courte notice sans ajouter que j'ai fait une observation que M. Arago avait, je crois, déjà faite, savoir que la lumière de l'arc lumineux qui s'échappe entre les pointes de charbon n'est pas polarisée. Ce fait n'est point en opposition avec l'idée que cette lumière est due à l'incandescence des particules qui sont transportées. En effet, ces particules, étant très-espacées, sont isolées et, pour ainsi dire, indépendantes les unes des autres, comme les particules d'un gaz. Or, dans de semblables circonstances, la lumière n'est pas polarisée. Elle le serait si elle émanait des particules d'un corps solide en incandescence, tel qu'un fil métallique, par exemple, qui serait rougi par le courant de la pile.

une pression d'un quart de pouce, la décharge d'une pointe de charbon à l'autre commençait à la distance d'un demi-pouce; ensuite, en éloignant graduellement les charbons, sir Humphry Davy obtint une flamme pourpre continue, et qui avait jusqu'à *sept pouces de longueur*.

«Il est, sans doute, très-naturel de supposer qu'un tel courant électrique agira sur l'aiguille aimantée tout comme s'il se mouvait le long d'un fil conjonctif métallique; néanmoins l'expérience me semble mériter d'être recommandée aux physiciens qui ont à leur disposition des piles voltaïques d'une grande force, surtout à cause des vues qu'elle peut faire naître relativement aux aurores boréales. Ne serait-ce pas d'ailleurs, indépendamment de toute application immédiate, un phénomène digne de remarque que la production dans le vide ou dans l'air très-raréfié, d'une flamme qui, agissant sur l'aiguille aimantée, serait à son tour attirée ou repoussée par les pôles d'un aimant?»

Une autre remarque que j'ai faite sur la lumière qui s'échappe entre les pointes de charbon, c'est qu'on peut l'employer comme on emploie la lumière solaire, pour éclairer un objet qu'on veut daguerréotyper. On obtint au daguerréotype une empreinte légère, il est vrai, mais suffisamment prononcée pour ne laisser aucun doute, d'un buste de plâtre qu'on avait exposé pendant dix minutes à la lumière en question. Cette expérience n'est pas facile, parce que l'arc lumineux est intermittent, qu'il n'est pas toujours dirigé de la même manière, et donne lieu par conséquent à des ombres dont la position est variable. Toutefois ce que j'ai vu suffit pour prouver qu'après avoir été réfléchie sur un corps blanc, la lumière qui s'échappe entre les deux pointes de charbon fixées aux deux pôles de la pile, a encore la propriété d'agir sur la plaque du daguerréotype.

Je ne terminerai pas cette courte notice sans dire que la plupart des expériences qu'elle renferme ont été faites avec le concours de MM. Colladon, Melly, Suskind et Bonijol, auxquels je suis heureux de témoigner ici ma reconnaissance pour leur précieuse coopération.

RECHERCHES SUR LES LOIS DE L'INDUCTION DES COURANTS PAR LES COURANTS, par M. ABRIA. Premier Mémoire. (*Compte rendu de l'Acad. des Sc.* du 17 mai 1841.)

Le moyen employé pour évaluer l'intensité de chacun des courants induits, estimé en prenant celle du courant inducteur pour unité, consiste à placer deux hélices égales dans le circuit induit et dans le circuit inducteur, et à soumettre une même aiguille à l'action de chacun des deux courants, en commençant par le plus faible. Le diamètre et la longueur des aiguilles

sont tels, eu égard aux dimensions des hélices, que leur loi d'aimantation suit celle pour laquelle le produit de l'intensité du courant par la durée d'oscillation reste constant. Les recherches que j'ai présentées à l'Académie sur l'aimantation par les courants, m'ont permis de satisfaire facilement à cette condition.

L'expérience fait voir que le rapport des durées d'oscillations d'une même aiguille soumise successivement à l'action des deux courants induit et inducteur est constant : ce rapport est la mesure du courant induit.

On peut déduire des expériences consignées dans mon travail les conclusions suivantes :

1° L'intensité de chacun des courants induits, direct et inverse, est proportionnelle à celle de l'inducteur. Elle décroît à mesure que la distance augmente dans un même rapport pour les deux courants, et moins rapidement que suivant la loi de la raison inverse de la simple distance. Elle augmente avec le diamètre des fils employés, et, lorsque ceux-ci sont disposés en spirale, elle varie dans le même sens que le rapport des nombres de tours des spirales inductrice et induite : de sorte qu'elle est sensiblement indépendante de la longueur absolue de chacun des deux circuits, lorsque celle-ci est la même pour tous les deux.

2° Le rapport des deux courants inverse et direct, correspondants à un même courant inducteur, peut être très-différent de l'unité. Il est plus petit que l'unité lorsque les deux circuits sont formés chacun d'un seul fil de petit diamètre, et ne varie pas dans des limites très-étendues lorsque ce diamètre reste constant. D'après mes expériences, l'inverse est, en nombres ronds, les $\frac{2}{5}$ du courant direct, lorsque ce diamètre est de $0^{mm},64$.

3° Un circuit placé dans le voisinage de l'inducteur et de l'induit n'exerce aucune influence lorsqu'il est ouvert.



DES MOYENS DE DONNER PLUS DE FORCE ET DE STABILITÉ AU COURANT DES BATTERIES GALVANIQUES FORMÉES D'UN SEUL LIQUIDE, par POGGENDORFF. (*Ann. der Physik*, tome LI, p. 384.)

L'auteur, après bien des essais infructueux, a trouvé qu'on pouvait parvenir au résultat cherché en faisant subir au cuivre du couple voltaïque l'une des quatre opérations suivantes : 1° le chauffer à l'air jusqu'à ce qu'on ne voie plus les couleurs qui se forment en commençant; 2° le plonger dans l'acide nitrique et le laver ensuite dans l'eau; 3° déterminer la précipitation d'une couche de cuivre pulvérulente et rouge-brun, semblable à celle qu'on obtient sur la surface des cuivres de la pile de Daniell, qui plongent dans une solution de sulfate de cuivre étendue et qui renferme de l'acide libre; 4° former cette même couche sur les plaques de cuivre en les plongeant dans l'acide nitrique étendu, et en les mettant ainsi dans le circuit des courants d'une machine magnéto-électrique de Saxton.

Ces divers moyens donnent au courant qui est produit par une plaque de cuivre ainsi préparée et par une plaque de zinc amalgamée, qui sont plongées l'une et l'autre dans de l'acide sulfurique étendu, non-seulement une plus grande stabilité, mais encore une force plus considérable. Et ce qui est remarquable, c'est que dans chacune de ces opérations, la force du courant augmente pendant un certain temps (le plus souvent pendant une demi-heure et plus), avant d'atteindre son maximum, point auquel elle s'arrête pendant plus ou moins de temps. A partir de ce moment elle diminue très-lentement, de manière que l'affaiblissement n'est souvent pour la pratique d'aucune importance au bout de plusieurs heures, et qu'il a toujours

lieu assez lentement pour permettre de mesurer, avec une exactitude satisfaisante, la force électro-motrice et la résistance dans diverses combinaisons voltaïques dans lesquelles entre le cuivre ainsi préparé.

Il faut cependant remarquer que l'auteur n'a pas toujours réussi à donner le même degré d'activité à des plaques qui, cependant, étaient de même nature; la constance dans la force du courant ne se maintient non plus qu'autant qu'on ne change rien aux différentes parties du circuit; condition qui n'est pas nécessaire dans la pile à deux liquides, telle que celle de Daniell.

On peut appliquer le même procédé au fer ou à d'autres métaux qui jouent le rôle d'éléments négatifs; ainsi de la fonte de fer préparée de la même manière que le cuivre a donné, en formant un couple avec du zinc amalgamé et de l'acide sulfurique étendu, un courant qui était non-seulement trois fois aussi fort que celui d'une batterie ordinaire zinc et cuivre, mais qui a conservé pendant plus d'une heure et demie, une constance presque complète.

L'influence de la nature et de l'état de la surface du métal positif n'a, comme on le sait, presque aucune influence sur la constance du courant [1].

[1] Si l'on rapproche les résultats que j'ai obtenus en étudiant l'effet des diaphragmes avec les courants alternatifs, de ceux auxquels est parvenu M. Poggendorff, et que nous venons de rapporter, on peut, je crois, trouver la cause de ces derniers. Le cuivre et le fer, et en général les métaux dont la surface est pulvérulente, s'oxident plus facilement dans le liquide où ils sont plongés; lors donc que le circuit est formé, l'hydrogène qu'apporte le courant est employé à réduire cet oxide, et ne forme point en se dégageant un obstacle à la transmission de l'électricité. Voilà pourquoi le courant est plus fort. Quant à sa constance plus grande, elle provient probablement de ce que l'oxide de zinc qui est amené par le courant sur le cuivre, ne peut y rester adhérent, à cause de l'état pulvérulent de ce métal, comme il y resterait si la surface était unie. Or c'est ce dépôt d'oxide de zinc qui s'oppose le plus à ce que la force d'une pile soit constante. (R.)

MANIÈRE AVANTAGEUSE DE CONSTRUIRE LA PILE DE GROVE, par C. A Grüel. (*Ann. der Physik*, tome LI, p. 381.)

L'auteur avait d'abord construit cette pile en plaçant un anneau cylindrique de platine dans un tube de terre poreuse, fermé dans sa partie inférieure et rempli d'acide nitrique. Le tube poreux plongeait lui-même dans un bocal cylindrique rempli d'acide sulfurique étendu où se trouvait également un anneau cylindrique de zinc amalgamé qui enveloppait le tube sans le toucher. Cet appareil, tout à fait semblable à un calorimoteur, donnait des effets puissants, mais il présentait l'inconvénient que la couche mince d'acide nitrique comprise entre la surface de l'anneau cylindrique de platine et la paroi intérieure du tube poreux s'échauffait rapidement, entrait en ébullition et donnait des vapeurs nitreuses.

L'auteur a substitué alors à l'anneau cylindrique de platine, deux lames du même métal se coupant à angle droit suivant l'axe du tube et formant une croix ; il en a même plus tard ajouté une troisième, de façon que les trois lames se croisaient aussi sur l'axe en faisant des angles de 60° les unes avec les autres. Elles étaient ainsi disposées autour de l'axe comme les feuillets d'un livre ouvert autour du dos du livre.

D'après cette disposition tout l'acide nitrique étant dans le circuit, il s'échauffait beaucoup moins ; le couple pouvait agir pendant plusieurs heures sans qu'il y eût dégagement de gaz ni affaiblissement de la force du courant, lors même que l'acide nitrique avait pris une couleur vert foncé.

DE L'INFLUENCE DES COUPLES INTERPOSÉS DANS LA PILE VOLTAÏQUE, par le Doct. BUFF, professeur à Giessen. (*Ann. der Pharmacie*, tome XXXII, premier cahier.)

Après avoir rappelé les travaux de Jäger et de Faraday, ainsi que ceux que j'ai moi-même faits sur ce sujet, l'auteur cherche à prouver, par de nouvelles expériences, la théorie que j'ai donnée pour expliquer la production de l'électricité de tension et de l'électricité dynamique d'une pile.—Il rappelle que, conformément à mon explication, il y a toujours un rapport à établir entre la conductibilité de la pile elle-même et celle du corps interposé entre ses pôles. Il montre qu'en introduisant dans l'intérieur de la pile des couples indifférents c'est-à-dire des couples faits du même métal, de cuivre par exemple, l'électricité de tension dont ils se chargent ne peut provenir que de celle des pôles eux-mêmes, qui se distribue dans toute la pile conformément au principe que j'ai posé. C'est en faisant communiquer un électromètre avec les différentes plaques des couples inactifs, quand la pile est isolée ou que ses pôles ne sont réunis que par un conducteur imparfait, que l'auteur démontre l'exactitude de sa conclusion.

Ainsi, en introduisant trois couples inactifs au milieu d'une pile composée d'un nombre pair de couples, il trouvait de l'électricité négative dans celui des couples inactifs qui était du côté du pôle négatif, de la positive dans celui qui était du côté du pôle positif, et à la fois de la négative et de la positive dans le couple inactif central, l'une sur la première des deux plaques de cuivre de ce couple, l'autre sur la seconde de ces deux plaques.

En étudiant les effets dynamiques de l'électricité au moyen

du galvanomètre, l'auteur a encore trouvé de nouvelles preuves en faveur des principes que nous avons rappelés. Les couples inactifs interposés diminuent la force du courant, n'importe la place où ils sont intercalés dans l'intérieur de la pile. Quand il y en a un nombre assez grand proportionnellement à celui des couples actifs, la nature plus ou moins excitante du liquide dont ces derniers sont chargés, ne modifie pas sensiblement la force du courant. Au contraire, le plus léger changement dans la nature du liquide dont sont chargés les couples inactifs, exerce à cet égard une grande influence. Ainsi une goutte d'acide sulfurique mise dans chacune des auges des couples inactifs, facilite singulièrement la circulation du courant. Si l'on y met de l'acide nitrique étendu, mais assez fort pour attaquer légèrement le cuivre, on peut faire passer, à travers trois et même quatre couples inactifs, le courant d'un seul couple, sans qu'il éprouve une diminution d'intensité bien sensible.

Les couples actifs n'étaient chargés qu'avec de l'eau, dans les expériences qui précèdent; si on les charge avec de l'eau acidulée, les mêmes couples inactifs qui arrêtaient à peine le courant dans le premier cas, l'arrêtent presque complétement dans le second cas. L'auteur attribue ce résultat à ce que les couples interposés avaient une conductibilité assez grande pour transmettre de petites quantités d'électricité, mais non pas pour donner passage, sans augmentation de tension, à des quantités plus considérables.

L'auteur remarque encore que plus les liquides agissent chimiquement sur les métaux qui réunissent les couples inactifs, plus la transmission de l'électricité est facile. Il observe également que l'effet interceptant d'un couple inactif est d'autant moindre qu'il y en a déjà un plus grand nombre d'interposés.

Il n'y a, en résumé, rien de bien nouveau dans ce travail de Mr. Buff; mais toutes les expériences qu'il rapporte s'accordent avec les principes que Mr. Faraday et moi, nous avons posés, sur l'origine du pouvoir de la pile voltaïque.

DE LA QUANTITÉ ET DE L'INTENSITÉ VOLTAÏCO-ÉLECTRIQUE, par le Doct. BUFF. (*Ann. der Pharm.*, t. XXXII, p. 1.)

L'auteur a eu pour but d'étudier cette espèce de propriété mystérieuse que Faraday avait cru trouver dans l'électricité voltaïque, en vertu de laquelle elle était plus facilement transmise, propriété qu'il avait nommée *intensité* et qu'il distinguait de la *quantité*. Il a trouvé que cette propriété n'est, comme je l'avais déjà indiqué, qu'un effet de conductibilité en vertu duquel la neutralisation des deux électricités accumulées aux pôles de la pile, est plus ou moins facile.

Les expériences de Mr. Buff ne sont pas toutes nouvelles, mais elles ont de l'intérêt en ce qu'elles confirment celles qui ont été déjà faites sur le même sujet par d'autres physiciens.

Il arrive, en variant le nombre des couples d'une pile, à trouver que si le circuit est fermé par un conducteur imparfait, on accroît la facilité que celui-ci possède de transmettre la quantité d'électricité qui peut être développée par la batterie, à mesure qu'on augmente le nombre des couples.

Les effets de tension observés par Mr. Buff sont plus nombreux et plus remarquables. Il les a d'abord étudiés sur une pile dont les pôles étaient isolés. Le couple central a donné la même tension que s'il avait été seul; deux couples, à partir du milieu de la pile, ont donné une tension plus forte; trois, une encore plus forte, et ainsi de suite jusqu'aux pôles, où l'électricité a atteint son maximum. L'auteur appréciait l'état électrique de chaque couple de diverses manières, et en particulier au moyen d'un fil de cuivre soudé au zinc qu'il mettait en con-

tact avec le plateau inférieur du condensateur, pendant qu'il touchait le supérieur avec le doigt.

En faisant communiquer les pôles entr'eux par de l'eau distillée, on a trouvé encore la même distribution d'électricité libre dans la pile; elle était seulement partout un peu plus faible; avec de l'eau acidulée placée entre les pôles et qui était décomposée, on a trouvé encore de l'électricité de tension dans les couples les plus voisins des pôles. On n'en a plus trouvé nulle part quand les pôles ont été réunis métalliquement.

Les mêmes effets ont été obtenus en chargeant la pile avec de l'acide sulfurique étendu, au lieu d'eau ordinaire. En réunissant les pôles par de l'eau distillée, la tension était encore moins forte et il n'y avait décomposition nulle part; en les réunissant par de l'eau acidulée, la décomposition a eu lieu partout, dans les auges de la pile aussi bien que dans celles où plongeaient les pôles. La tension a été toutefois encore assez forte aux deux pôles.

L'auteur remarque l'analogie qu'il y a entre ces effets et ceux d'une batterie électrique ordinaire chargée par l'électricité des machines; et il en conclut que la tension plus grande ou l'*intensité statique* de la pile ne provient que des résistances qu'éprouve la circulation de l'électricité. On conçoit donc qu'elle soit à son maximum aux pôles et que, sans qu'on soit obligé d'attribuer au courant une propriété mystérieuse, il existe pour les deux électricités accumulées à ces deux pôles, une tendance plus ou moins forte à la neutralisation, et par conséquent plus de facilité pour le courant qui résulte de cette neutralisation, à traverser des conducteurs imparfaits.

DES PROGRÈS QU'A FAITS LE PROCÉDÉ DE DORAGE PAR LA VOIE ÉLECTRO-CHIMIQUE, par M. le Prof. A. DE LA RIVE.

Je réunis sous ce titre le compte rendu des progrès qu'a faits cette application des sciences aux arts depuis que je l'ai fait connaître en avril 1840.

Différents artistes s'en sont occupés à Genève, notamment MM. Bergeon père et fils qui ont présenté à l'Académie des Sciences de Paris, au printemps de 1840, des objets dorés qui, après avoir été soumis à des épreuves décisives, ont été reconnus ne le céder ni pour la solidité, ni pour le brillant, aux meilleures dorures opérées par le mercure. Ces Messieurs ont apporté au procédé tel que je l'ai décrit, quelques perfectionnements qu'ils n'ont pas fait connaître. Ce mode de dorure paraît rencontrer quelque obstacle dans son application aux pièces en laiton des mouvements d'horlogerie, parce que la couleur qu'il donne n'est pas celle à laquelle on est habitué pour ce genre d'ouvrage.

M. Droin, de Genève, ouvrier distingué, qui travaille chez MM. Bautte et Ce, a réussi, en suivant à la lettre le procédé que j'ai décrit, à faire de belles dorures; mais il a remarqué que pour réussir, il faut, dans le métal qu'on dore (argent ou laiton), une parfaite homogénéité, qualité qu'il est difficile de toujours rencontrer. La dorure n'est parfaitement uniforme qu'à cette condition.

M. Perrot, de Rouen, a envoyé à l'Académie des Sciences de Paris plusieurs échantillons de différents métaux, qu'il a dorés par les courants voltaïques et qui paraissent avoir très-bien réussi.

Mr. Arago a présenté également à l'Académie des Sciences,

dans sa séance du 5 mai dernier, un ressort de chronomètre sorti des ateliers de M. Dent et doré avec une grande perfection, au moyen des procédés galvaniques. Il a rappelé à cette occasion qu'il avait présenté à l'Académie une multitude d'objets en métal, dorés au moyen des mêmes procédés, par Mr. Perrot. Mr. Perrot avait déjà aussi à cette époque des ressorts de montre dorés de la même manière, et s'il n'en comprit pas dans le nombre des objets qu'il envoya, c'est qu'il attendait la fin d'une expérience dans laquelle il avait entrepris de dorer en même temps tous les mouvements d'une montre, de les dorer non-seulement en place, mais fonctionnant.

En Allemagne, un artiste distingué de Stuttgard, Mr. Reinecker, qui est l'auteur d'un procédé pour *guillocher* très-remarquable, vient de perfectionner le procédé du dorage par voie galvanique au point que, sous le rapport de la solidité, il ne laisse rien à désirer. Quant à sa beauté elle laisse en arrière toute autre espèce de dorure. « Si l'on considère, ajoute la Gazette de Stuttgard d'où nous tirons ces détails, que dans le procédé du dorage par le galvanisme, il ne se dégage nullement ces vapeurs de mercure qui sont si nuisibles à l'opérateur, que la quantité d'or employée est beaucoup moindre que dans le dorage ordinaire et que de plus la partie technique du travail est si simple qu'on peut la faire exécuter par des enfants, alors cette découverte paraît pour cette branche d'industrie d'une importance telle qu'on doit désirer de la voir généralement appliquée. »

Mr. Boettiger dans les *Annalen der Chimie und der Pharmacie* (vol. 35, p. 350), décrit les essais qu'il a faits pour dorer et platiner les plaques de cuivre en relief qu'on obtient par la galvanoplastique.

Il avait d'abord essayé de les platiner par la voie galvanique en faisant usage d'une solution de chlorure de platine très-neutre et très-étendue. Il avait réussi, mais il avait trouvé qu'il fallait au moins six immersions dans le chlorure de pla-

tine pour produire une couche de platine de faible épaisseur, et encore cette couche n'était point d'une bien bonne couleur, mais plutôt grise que blanche.

Ayant trouvé, par des expériences antérieures, que pour le dorage aucun sel n'est préférable au chlorure double d'or et de sodium, Mr. B. a essayé d'employer pour le platinage, le chlorure double de platine et de sodium. Les expériences qu'il a faites ainsi ont parfaitement bien réussi; le plus souvent il n'a fallu que trois immersions à peine pour recouvrir d'une assez forte couche de platine même la plus grande surface de cuivre; la couleur paraissait être également d'un blanc beaucoup plus pur. Cependant une circonstance à laquelle il faut toujours avoir égard lorsqu'on platine le cuivre et les autres métaux, c'est d'essuyer fortement l'objet avec un petit morceau de toile fine et de le nettoyer aussitôt avec de la craie toutes les fois sans exception qu'on le retire de la solution de platine. Il a cru remarquer également que soit en argentant, soit en dorant, soit en platinant, les objets qui avaient le plus beau poli étaient aussi ceux qui prenaient la couche métallique la plus belle. Mr. Boettiger estime que pour dorer bien le cuivre, il faut commencer par le couvrir d'une couche de platine, ce qui est facile et peu coûteux; le dorage est beaucoup plus beau et plus durable que celui qu'on obtient en dorant directement le cuivre. Il est facile d'obtenir le chlorure double de platine et de sodium en mélangeant des parties égales de chlorure de platine sec et de sel de cuisine pur dans de l'eau distillée. Il est bien nécessaire de frotter convenablement le métal avec du sable extrêmement fin, humecté d'acide hydrochlorique étendu avec de la craie, de façon qu'il ne reste aucune trace d'oxide de cuivre, car le platine ne se précipite pas sur les places où il en reste, et il suffit de frotter de nouveau ces places pour y déterminer ce dépôt de platine quand on remet la plaque de cuivre dans la dissolution comme métal négatif d'un couple.

Je ne puis m'empêcher de remarquer que j'avais beaucoup

insisté, dans ma notice, sur la nécessité de bien décaper les surfaces avant de les mettre dans la dissolution d'or, et sur l'importance des immersions successives et des frottements opérés après chaque immersion avec un linge fin.

M. Smee, dans un ouvrage sur l'électro-métallurgie dont nous rendrons compte dans notre prochain numéro, emploie pour dorer, des courants voltaïques beaucoup plus puissants que ceux que j'avais indiqués, et dont on a fait généralement usage. Il dit obtenir ainsi des dorures beaucoup plus solides, et d'une épaisseur aussi grande qu'on le veut.

Il remarque que le procédé, dit anglais, d'Elphinstone ne présente point ce dernier avantage. Dans ce procédé, l'objet à dorer, qui est de laiton par exemple, est mis dans une solution de chlorure double d'or et de sodium élevée à une haute température. L'or se précipite par l'effet de la dissolution d'une partie équivalente du métal sur lequel la précipitation a lieu. Or, dès que toute la surface est recouverte d'une couche mince d'or, il n'y a plus possibilité à ce qu'une partie de cette surface soit dissoute, et à ce que de l'or soit de nouveau précipité. Il ne peut donc se former qu'une dorure très-superficielle, et par conséquent de très-peu de durée, tandis que par le procédé voltaïque il n'y a pas de limite à l'épaisseur qu'on peut donner à la couche de la dorure. Un autre inconvénient du procédé anglais, c'est qu'il y a, par la dissolution d'une partie de la surface à dorer, altération de cette surface, ce qui est fâcheux dans beaucoup de cas, notamment lorsqu'il s'agit d'objets dont les dimensions ont été très-exactement calculées et ne doivent pas être altérées, tels que des roues de montre, par exemple.

M. Hamman, graveur à Genève, a trouvé qu'il y avait un grand avantage à remplacer, pour la gravure à l'eau forte, le vernis dont on recouvre la plaque de cuivre, par une couche d'or précipitée voltaïquement. Les traits du poinçon sont beaucoup plus déliés; la couche d'or étant permanente, et n'étant pas enlevée comme la couche de vernis, quand l'eau forte

a opéré, on peut facilement corriger la planche gravée si elle a quelque défaut, ce qui est impossible dans l'ancien procédé. Nous donnerons à nos lecteurs, dans l'un de nos prochains numéros, un échantillon de ce genre de gravure au moyen duquel nous avons reproduit un appareil nouveau que nous comptons décrire.

NOTICE SUR QUELQUES INSTRUMENTS ET APPAREILS ÉLECTRIQUES, FABRIQUÉS PAR M. BONIJOL DE GENÈVE, par M le Prof. A. DE LA RIVE.

Toutes les personnes qui s'occupent d'électricité savent combien il est important, et souvent difficile, d'avoir de bons appareils propres à répéter les expériences des autres, et à en faire de nouvelles. Genève, sous ce rapport, est heureusement placée. Elle possédait déjà d'excellents artistes pour les instruments de précision, et pour les instruments de physique en général[1]; mais en voici un nouveau, Mr. Bonijol, qui a pris la spécialité de l'électricité. Amateur zélé, je dirai passionné de cette partie de la physique, dont il a suivi avec ardeur le développement, il a commencé par faire pour lui-même les appareils qu'il voyait fonctionner dans les cours publics donnés à Genève; puis il y a introduit successivement différents perfectionnements; et enfin, sollicité par les personnes qui cultivent la physique, il s'est décidé à étendre sa fabrication d'instruments et d'appareils. Maintenant il n'est pas dans l'électricité, dans le galvanisme et l'électro-magnétisme, un seul appareil, depuis la machine électrique la plus puissante jusqu'aux appareils microscopiques

[1] Il suffit de nommer MM. Gourdon frères, Noblet et plusieurs horlogers de mérite, tels que MM. Matthey et Foltz, qui, quand ils veulent travailler pour la physique et la mécanique, deviennent bien vite des artistes de premier ordre dans ce genre.

de l'électro-chimie, que M. Bonijol ne puisse faire d'une manière parfaitement satisfaisante.

Nous nous bornerons aujourd'hui à énumérer les principaux instruments que M. Bonijol fabrique, et qu'il peut procurer à des prix très-modiques à ceux qui s'adressent à lui. Ce sont d'abord les machines et les batteries électriques, et tout ce qui se rapporte à l'électricité statique ; puis toute espèce de pile : pile ordinaire à la Wollaston, pile à force constante de Daniell avec diaphragmes en vessie ou en bois, pile de Grove, etc.; de même aussi toute espèce de galvanomètres : galvanomètres magnétiques extrêmement sensibles, galvanomètres calorifiques, galvanomètres chimiques, soit voltaïmètres avec tube gradué. Mr. Bonijol a donné un soin particulier à tous les appareils de l'électro-chimie, tels que ceux qui ont pour objet le dorage électro-chimique, ceux qui sont relatifs à la galvano-plastique, qu'il a simplifiés et perfectionnés. Nous citerons encore une collection de flotteurs électro-dynamiques faits sur une grande échelle, et destinés à démontrer, en ne se servant que d'un seul couple voltaïque à force constante, toutes les lois d'Ampère sur l'action mutuelle des courants et des aimants sur les courants. Enfin M. Bonijol a fait un grand nombre d'instruments pour les phénomènes d'induction; il a, en particulier, réussi à construire une petite cassette dans laquelle, au moyen d'un seul couple à force constante de médiocre dimension, on peut produire des courants par induction d'une force extraordinaire.

Nous serons appelés souvent, par la suite, à décrire en détail plusieurs des appareils que nous venons d'énumérer. Ajoutons encore, avant de terminer, que M. Bonijol sera toujours prêt à procurer, à ceux qui les lui demanderont, tous les appareils et instruments dont il sera question dans les *Archives de l'Électricité*.

RECHERCHES SUR LA DÉCOMPOSITION ÉLECTRO-CHIMIQUE DE L'EAU, par Mr. Edmond BECQUEREL, Doct. ès-sciences, et aide au Muséum d'Histoire naturelle. (*Mémoire présenté à la Société Philomatique*, le samedi 13 juin 1840.)

Des causes qui influent sur la décomposition électro-chimique de l'eau.

L'eau étant une des substances les plus répandues à la surface de la terre, il n'est pas étonnant qu'elle ait été longtemps un sujet de recherches de la part des physiciens et des chimistes. La plupart des philosophes de l'antiquité, qui n'avaient aucune idée de la composition des corps, la regardaient comme un de leurs éléments, ou plutôt comme un des quatre éléments qui, suivant eux, composaient tous les corps. Cette opinion, émise d'abord par Aristote, s'est soutenue jusqu'à la fin du siècle dernier. En 1776, Macquer et Sigaud-Lafond observèrent un dépôt d'eau sur les parois des vases au-dessous desquels on faisait brûler de l'hydrogène, et en 1781, Priestley, ayant opéré la détonation d'un mélange d'hydrogène et d'oxigène, avait vu sur les parois du vase une couche d'humidité; mais personne n'en avait conclu que l'eau était formée d'hydrogène et d'oxigène. Cavendish ayant répété avec un très-grand soin l'expérience de Priestley dans l'été de la même année, en tira le premier cette conséquence. On prétend qu'il partage l'honneur de cette grande découverte avec Monge qui, à Mézières, parvenait en même temps au même résultat. Lavoisier montra ensuite que le résidu terreux que l'on obtient lors de l'évaporation de l'eau dans des vases en verre, provenait uniquement de la séparation d'une partie des éléments du verre qui venaient

se déposer au fond du vase. Ce résidu avait même trompé Newton, qui avait cru que l'eau pouvait se transformer en terre.

Peu après la grande découverte de Volta, Nicholson et Carlisle furent les premiers qui s'aperçurent qu'on pouvait décomposer l'eau au moyen de cet instrument; dès lors les phénomènes chimiques de l'électricité devinrent un sujet intéressant de recherches, et aujourd'hui l'électro-chimie forme une des parties les plus importantes de la physique et de la chimie.

Wollaston, en cherchant à prouver que l'électricité voltaïque était de même nature que l'électricité de nos machines, opéra la décomposition de l'eau en excitant, à travers une masse de ce liquide, une série d'étincelles électriques entre deux pointes métalliques d'une grande finesse; il recueillit les gaz dégagés, et trouva, comme avec la pile, l'hydrogène et l'oxigène dans le rapport de 2 à 1. Avant les expériences de Wollaston, et même avant la découverte de la composition de l'eau, Priestley avait vu dans l'eau de petites bulles gazeuses s'élever des tiges métalliques entre lesquelles il opérait les décharges électriques, mais il n'avait pas analysé les gaz produits.

En répétant l'expérience de la décomposition de l'eau par la pile, on crut d'abord avoir découvert que le passage du courant électrique à travers les liquides opérait la formation de bases au pôle négatif, et d'acides au pôle positif; mais Simon prouva qu'en se servant d'eau pure, il ne se passait rien de semblable, et que l'on avait seulement dégagement d'hydrogène et d'oxigène. MM. Berzélius et Hisinger, montrèrent que les éléments acides et alcalins ne s'étaient transportés aux pôles de la pile ou, comme on le dit à présent, aux électrodes, que par suite de la décomposition des sels. Davy, trois ans après, répéta ces expériences, et montra que, dans le cas précédent, le chlorure de sodium employé dans la fabrication du verre était décomposé par la force du courant, que le chlore se portait au pôle positif, et la soude au pôle négatif, de telle sorte qu'en opérant dans des vases de platine ou d'or, avec de l'eau

parfaitement pure, on n'obtenait aux deux pôles que de l'hydrogène et de l'oxigène.

Le fait très-remarquable de la polarisation des électrodes, qui a été observé pour la première fois par Ritter, lors de la décomposition de l'eau, et qui lui a servi de principe dans la construction des piles secondaires, se produit en général quand un courant électrique est transmis d'une lame de métal dans un liquide. Voici en quoi ce fait consiste : lorsqu'on se sert de deux lames métalliques pour transmettre un courant dans une dissolution, ces lames après le passage du courant sont polarisées, c'est-à-dire qu'elles jouissent de la propriété de donner naissance à un courant, dont la direction est inverse du précédent, quand on met en communication les lames plongeant dans le liquide, et les deux extrémités d'un galvanomètre. Ce courant est produit, d'après l'explication de mon père, par la réaction qu'exercent les unes sur les autres les parties gazeuses, et les substances alcalines et acides provenant de la décomposition de la dissolution, et qui sont restées adhérentes aux électrodes. Cette théorie a été mise hors de doute par une expérience de Mr. Matteucci, qui a montré qu'en plongeant dans un vase rempli d'eau deux lames de platine ou d'or, qui avaient été mises en contact l'une avec de l'hydrogène, l'autre avec de l'oxigène, elles produisent un courant électrique dont la direction est telle, que la lame mise en contact avec l'oxigène, prend à l'eau l'électricité positive [1]. D'après le fait de la pola-

[1] J'ai fait une expérience qui s'explique très-bien par ce moyen, et qui est assez curieuse. Si on prend 2 lames de platine de 4 cent. carrés chacune, et qu'on les plonge dans l'eau distillée ; si, après cela, on les met en relation avec un excellent multiplicateur à fil long, l'aiguille restera à zéro, surtout si les lames ont séjourné quelque temps dans l'eau ; mais si, en élevant une dans l'air sans rompre la communication avec le galvanomètre, on la replonge ensuite dans l'eau, il se manifeste aussitôt un courant de 5° à 6°, qui indique que la lame que l'on a enlevée puis replongée dans l'eau, a pris l'électricité positive. Si on répète de nouveau l'expérience avec l'autre lame, on obtient les mêmes

risation des électrodes, qui se manifeste toutes les fois qu'un liquide est conducteur, quelque faible que soit le courant, on est porté à croire qu'une dissolution ne peut conduire un courant électrique sans être décomposée; bien qu'il ne se dégage pas de gaz sur les électrodes, l'état de polarisation semble indiquer qu'il se dépose sur leur surface des globules gazeux d'une ténuité extrême. En effet, lorsqu'on prend pour lames décomposantes des lames de métaux oxidables, de zinc ou de cuivre par exemple, la couche d'oxigène adhérente à la lame se combinant sans cesse avec le métal, il se forme une nouvelle couche et ainsi de suite. Il y aura donc formation d'oxide de cuivre au pôle positif, et dégagement d'hydrogène au pôle négatif; c'est en effet ce qui a lieu. Il est donc bien plus facile d'opérer la décomposition de l'eau avec des électrodes oxidables qu'avec des électrodes inoxidables. Quand on décompose l'eau distillée au moyen d'une pile d'un certain nombre d'éléments, le dégagement de gaz est très-lent; mais on peut l'accélérer, si l'on ajoute à l'eau un peu d'un acide ou d'un sel soluble afin de la rendre plus conductrice. Néanmoins, en se servant de lames de platine, il faut un certain nombre de couples pour opérer avec de l'eau acidulée cette séparation d'éléments.

Jusqu'ici on n'avait pu obtenir la décomposition de l'eau, en employant seulement un couple métallique de moyenne grandeur et des électrodes en platine, que dans des circonstances particulières, comme dans une expérience faite par mon père. L'appareil remarquable dont il a fait usage, a été nommé depuis *chaîne à oxigène*. Cet appareil se compose d'un tube creux en verre, contenant à sa partie inférieure de l'argile humectée d'eau salée; l'argile ne peut tomber du tube, étant retenue par un tampon en linge qui est fortement attaché à

résultats. On peut expliquer ce fait en disant qu'au moment où l'on replonge la lame, elle est couverte d'une couche d'air adhérente à sa surface, et que ce gaz réagit sur l'eau de manière à donner naissance à un courant électrique.

l'extrémité inférieure. Ce tube renferme une dissolution de potasse caustique, et plonge, par sa partie inférieure, dans un vase contenant de l'acide nitrique ordinaire ; puis deux lames de platine, communiquant entre elles par un fil de même métal, plongent l'une dans le tube, l'autre dans le vase. Aussitôt que l'appareil est ainsi préparé, on voit une infinité de petites bulles d'oxigène pur se dégager sur la lame qui est plongée dans la potasse, tandis que l'hydrogène de l'eau décomposée par le courant électrique provenant de la réaction de l'acide nitrique sur la potasse par l'intermédiaire de l'argile, désoxide une partie de l'acide nitrique, qui se colore successivement en jaune, jaune verdâtre, puis en bleu, par suite de la présence de l'acide nitreux qui se forme continuellement.

Mr. Grove est aussi parvenu à décomposer l'eau avec un couple seulement, mais en se servant de l'action de l'oxigène de l'eau sur l'hydrogène renfermé dans un tube où se trouvait l'électrode positif, mais sans qu'il y ait dégagement de gaz. Dans ce cas, l'oxigène se combine avec l'hydrogène pour former de l'eau, et l'on voit dans le tube le volume du gaz diminuer peu à peu. Cet effet n'est produit qu'autant que l'électrode plonge en partie dans l'eau, et en partie dans le gaz.

Il résulte de là que, si l'on soumet à l'expérience de l'eau qui tient en dissolution de l'oxigène ou de l'hydrogène, ces corps aident à sa décomposition sans pour cela qu'il y ait dégagement de gaz. Par la même raison, l'eau est décomposée si elle renferme des substances avides d'oxigène ou d'hydrogène. En effet, si l'on verse dans un vase de l'eau tenant en dissolution du chlore, et qu'on y plonge deux électrodes en platine, en relation avec un petit couple à la Wollaston de 4 centimètres carrés, et faiblement chargé, l'eau est immédiatement décomposée ; l'oxigène seul se dégage au pôle positif, tandis que l'hydrogène, à l'autre électrode, se combine avec le chlore pour former de l'acide chlorhydrique. Il y a, en outre, un peu d'oxigène absorbé, comme nous le verrons plus loin. Mais si, au lieu d'em-

ployer un seul couple, on en prend trois ou quatre, ou un nombre suffisant pour décomposer l'eau acidulée, il se dégage alors de l'hydrogène au pôle négatif, comme il est facile de le concevoir; dans ce cas, la quantité d'hydrogène est telle, qu'elle ne trouve pas, à l'instant où elle est à l'état naissant sur la lame de platine, tout le chlore nécessaire pour former de l'acide chlorhydrique, car il faut un certain temps pour qu'il en arrive des parties éloignées du liquide.

Si l'on dissout, au contraire, dans l'eau des sels dont les bases peuvent se suroxider, tels que du sulfate de protoxide de fer, qui tend sans cesse à prendre de l'oxigène aux corps oxigénés, pour former du sulfate de peroxide, on décompose encore la solution en n'employant qu'un seul élément. Dans ce cas, il y a seulement dégagement d'hydrogène au pôle négatif.

On voit donc que, lorsque l'eau tient en dissolution différentes substances qui ont de l'affinité pour l'oxigène ou l'hydrogène, ces substances aident à sa décomposition électro-chimique. Cependant cette règle n'est pas sans exception; si l'on opère, par exemple, avec une solution aqueuse de brome, on trouve qu'il faut ajouter une certaine quantité de sel marin, ou de l'acide sulfurique pour la décomposer, tandis que l'eau iodurée, malgré l'addition d'acide, ne donne aucune trace de décomposition. Le bichlorure de cuivre donne à l'eau la faculté d'être décomposée par un seul élément; dans ce cas, le bichlorure se change en protochlorure.

On a vu précédemment, qu'un courant électrique qui traversait l'eau chlorurée, laissait dégager de l'oxigène; j'ai cherché s'il en était encore de même en faisant passer un courant simultanément dans une solution de chlore et dans l'eau acidulée, c'est-à-dire en introduisant dans le circuit un voltaïmètre. J'ai pris à cet effet deux vases, munis chacun de deux électrodes en platine. Deux des électrodes communiquaient ensemble, et les deux autres furent mis en communication avec les pôles d'une pile à auges. L'un des vases renfermait de l'eau

chlorurée, et l'autre de l'eau acidulée. En prenant successivement deux, trois couples de la pile chargée d'eau acidulée, on n'eut aucun dégagement de gaz dans les deux vases ; avec 4 couples, l'eau acidulée et l'eau chlorurée furent décomposées. Dans cette dernière, il n'y eut, comme ci-dessus, qu'un dégagement d'oxigène ; il en fut de même avec 5 couples ; mais avec 6 couples, l'hydrogène commença à se dégager dans l'eau chlorurée.

Voici les résultats d'une expérience faite avec 5 couples :

	Oxigene.	Hydrogene.
Eau chlorurée.	3$^{vol.}$	0$^{vol.}$
Eau acidulée	3,5	7

Ces résultats donnent les rapports des volumes des gaz dégagés dans les deux appareils. On voit que le chlore, outre qu'il a absorbé tout l'hydrogène, a pris encore un demi-volume d'oxigène. En mettant dans les deux appareils de l'eau chlorurée à des degrés peu différents, on a eu la même quantité de gaz dégagée dans les deux appareils. Il faut pour cela que les électrodes soient identiquement égaux, qu'il y ait un excès de chlore, eu égard à la quantité de gaz qui doit se dégager, et que ces gaz se dégagent très-lentement.

Supposons que l'on mette successivement en expérience un appareil contenant de l'eau qui tient en dissolution du chlore, du brome ou de l'iode, qu'ils soient dissous à peu près en parties égales dans l'eau : alors les différentes quantités d'hydrogène et d'oxigène absorbées par ces substances dépendront seulement du plus ou moins d'affinité de ces corps pour l'hydrogène et l'oxigène. Il suit de là que les rapports des gaz absorbés donneront approximativement des nombres qui exprimeront l'énergie avec laquelle les gaz provenant de la décomposition de l'eau se combinent avec les trois corps simples que nous venons de nommer. Il faut pour cela qu'il n'y ait que de

l'hydrogène et de l'oxigène dégagés aux deux pôles ; or on sait très-bien qu'en opérant rapidement la décomposition de l'eau chlorurée avec une forte pile, il y a production de chlore et d'oxigène au pôle positif, et d'hydrogène au pôle négatif ; à mesure que l'eau est décomposée, il s'est donc formé de l'acide hydrochlorique, qui à son tour s'est trouvé détruit. Mais quand on opère avec un courant très-faible, l'acide hydrochlorique formé peut bien être décomposé, mais le chlore ne se dégage pas au pôle positif, ce qui montre qu'il reste dissous dans l'eau, c'est-à-dire que les phénomènes se passent comme si cette décomposition d'acide hydrochlorique n'avait pas lieu. On peut donc supposer que les seuls gaz dégagés aux électrodes sont de l'hydrogène et de l'oxigène.

Pour pouvoir mesurer l'absorption de ces deux gaz, j'ai pris quatre vases disposés comme les précédents. Les deux lames extrêmes furent mises en communication avec les pôles d'une pile à la Wollaston, de dix éléments ; les trois premiers vases renfermaient, le premier une solution aqueuse de chlore, le deuxième une solution aqueuse de brome, le troisième une solution aqueuse d'iode ; le quatrième vase était le voltaïmètre renfermant de l'eau acidulée. La pile était chargée très-faiblement, afin que les gaz, se dégageant très-lentement sur les lames de platine, eussent le temps de réagir à l'état naissant sur les gaz dissous dans l'eau qui venaient se présenter successivement aux électrodes.

Dans une expérience, la pile ayant fonctionné pendant trois heures, il ne s'est dégagé dans le voltaïmètre qu'environ $\frac{1}{2}$ centimètre cube d'hydrogène, et $\frac{1}{4}$ de centimètre cube d'oxigène. La même quantité d'eau a dû être décomposée dans les trois autres vases ; si donc on retranche le volume des gaz dégagés dans les trois premiers vases, du volume de l'hydrogène et de l'oxigène recueillis dans le quatrième, on aura la quantité de gaz absorbé.

	GAZ DÉGAGÉ.		GAZ ABSORBÉ.		Rapport du gaz absorbé au gaz dégagé dans le voltaïmetre.	
	Oxigène.	Hydrogène.	Oxigène.	Hydrogèn.	Oxigène.	Hydrogène.
Eau acidulée	7vol.,25	14vol.,5	»	»	»	»
— chlorurée	6,25	2	1	12,5	0,138	0,862
— bromurée	4,5	4	2,75	10,5	0,379	0,724
— iodurée	4	11	3,25	3,5	0,448	0,242

La même expérience ayant été répétée avec une pile de 20 éléments, j'ai obtenu après cinq heures d'expériences les résultats suivants :

	GAZ DÉGAGÉ.		GAZ ABSORBÉ.		Rapport du volume des gaz absorbés au volume des gaz dégagés.	
	Oxigène.	Hydrogène.	Oxigène.	Hydrogèn.	Oxigène.	Hydrogène
Eau acidulée	27vol.,5	55vol.	»	»	»	»
— chlorurée	22	1	5,5	54	0,200	0,982
— bromurée	17	16,5	10,5	38,5	0,382	0,700
— iodurée	14	4,5	13,5	10	0,490	0,182

Ces résultats présentent entre eux quelque différence. Nous devons en conclure que les quantités de gaz absorbées n'entrent pas toutes en combinaison avec le chlore, le brome ou l'iode ; dès lors une portion de ces gaz reste en dissolution, et les rapports cherchés doivent être les moyennes des nombres obtenus dans plusieurs expériences.

D'après les deux expériences précédentes, on a pour les rapports d'absorption :

Hydrogène. { chlore. 922
brome. 712
iode. 212

Oxigène . .	chlore.	169
	brome.	380
	iode.	469

En faisant dégager les gaz très-rapidement, en quelques minutes par exemple, les rapports entre les quantités absorbées et les quantités de gaz dégagées dans le voltaïmètre ne sont plus les mêmes, comme on le voit dans le tableau suivant. Dans ce cas, les gaz ne restent pas assez longtemps à l'état naissant pour réagir sur le chlore qui n'est pas en contact immédiat avec la lame de platine.

	DÉGAGEMENT.		ABSORPTION.	
	Oxigène.	Hydrogène.	Oxigène.	Hydrogène.
Eau acidulée. . . .	7vol.,25	14vol.,5	»	»
— chlorurée. . .	5,5	8,25	1,75	5,25
— bromurée. . .	5,25	12,5	2	2
— iodurée	6	13	1,25	1,5

Ces résultats ne doivent être considérés que comme indiquant un procédé à suivre, si l'on veut avoir des nombres qui représentent avec une certaine approximation les rapports qui existent entre les énergies diverses avec lesquelles l'hydrogène et l'oxigène se combinent avec le chlore, le brome et l'iode, lorsqu'ils sont à l'état naissant, ces nombres ne pouvant être déduits que d'un très-grand nombre d'expériences faites avec des électrodes de nature diverse.

On voit donc que différentes substances en dissolution dans l'eau aident à sa décomposition, en s'appropriant une partie des éléments qui la constituent, et que, lorsqu'un des électrodes de la pile peut se combiner avec l'oxigène, la décomposition de l'eau devient aussi plus active.

Nous allons maintenant examiner ce qui a lieu lorsque les

électrodes peuvent condenser une partie des gaz dégagés à leur surface. Nous emploierons à cet effet successivement des éponges de platine et d'or.

Examinons d'abord ce qui arrive lorsque ces deux électrodes sont des éponges de platine. On sait que ces éponges, qui opèrent des décompositions et des combinaisons chimiques, ont, comme les corps poreux, la propriété d'absorber des gaz. Plusieurs physiciens ont fait usage de cette propriété, et dernièrement Mr. Schœnbein l'a employée pour combiner l'oxigène provenant de la décomposition électro-chimique de l'eau contenue dans l'alcool avec ce dernier, et former un produit plus oxigéné.

M'étant servi d'éponges de platine comme d'électrodes, pour opérer la décomposition de l'eau, j'ai vu que les gaz ne se dégageaient pas immédiatement ; les premières bulles gazeuses devaient donc être absorbées. J'ai voulu, d'après cela, chercher le rapport des quantités de gaz absorbées.

Les expériences ont été faites avec plusieurs éponges qu'on avait élevées préalablement à la température rouge avant chaque expérience, pour chasser toute l'eau interposée ainsi que l'air, avec de l'eau distillée aiguisée de quelques gouttes d'acide sulfurique, et une pile de 40 éléments.

On a employé, dans les expériences suivantes, une éponge de platine du poids de $3^{gr.},008$. Cela posé, si l'on opère la décomposition de l'eau en employant successivement cette éponge pour électrode positif et négatif, et pour second électrode une lame de même métal, en recueillant les gaz dégagés aux deux pôles on a les résultats suivants :

DÉGAGEMENT.

	Pôle positif:	oxigène.	Pôle négatif:	hydrogène.
Première expérience.	éponge.	$3^{vol.},2$	lame.	$19^{vol.},2$
Seconde expérience.	lame	$9^{vol.},5$	éponge	$3^{vol.}$

Quand la pile a commencé à fonctionner, il ne s'est d'abord

dégagé du gaz que sur la lame ; le dégagement ne s'est manifesté sur l'éponge que lorsqu'elle a été saturée de gaz. Alors on a laissé continuer l'action pendant un certain temps, afin d'être assuré que l'éponge avait absorbé tout le gaz qu'elle pouvait prendre. La quantité de gaz absorbée dépendait donc des volumes des gaz dégagés aux deux pôles.

Or dans le premier cas, il y a eu $19^{vol.},2$ d'hydrogène dégagé sur la lame; donc $\frac{19^{vol.},2}{2}$ ou $9^{vol},6$ d'oxigène, ont dû être mis en présence de l'éponge ; et comme $3^{vol.},2$ seulement ont été dégagés, il y a eu d'absorbé $9^{vol.},6 - 3^{vol.},2 = 6^{vol.},4$ d'oxigène.

De même dans le second cas, l'éponge a absorbé $2.9^{vol.},5 - 3^{vol.} = 16^{vol.}$ d'hydrogène.

Ainsi l'éponge a absorbé dans ces deux expériences :

$6^{vol.},4$ d'oxigène.
$16^{vol.}$ d'hydrogène.

Ces nombres peuvent être vérifiés de la manière suivante : On s'est servi, pour électrode négatif, de l'éponge de platine après qu'elle eut absorbé de l'oxigène ; il y a eu de l'hydrogène d'absorbé, mais en plus grande abondance que précédemment, car une partie de l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau par l'action de la pile, a dû former de l'eau avec l'oxigène absorbé par l'éponge, et une autre partie de cet hydrogène a dû ensuite être retenue par l'action absorbante du platine. Ainsi, puisque primitivement l'éponge avait absorbé $6^{vol.},4$ d'oxigène, il a dû être employé $12^{vol},8$ d'hydrogène pour former de l'eau avec ce gaz ; et comme l'éponge absorbe $16^{vol.}$ d'hydrogène, il a dû être absorbé en totalité $12^{vol.},8 + 16^{vol.}$, ou $28^{vol.},8$ d'hydrogène.

De même, si l'éponge avait servi d'abord de pôle négatif, puis de pôle positif, dans ce second cas, il aurait dû être

absorbé $\frac{16^{vol.}}{2} + 6^{vol.},4$ ou $14^{vol.},4$ d'oxigène.

Ainsi la théorie indique pour l'absorption :

$28^{vol.},8$ d'hydrogène,
et $14^{vol.},4$ d'oxigène;

l'expérience a donné :

	DÉGAGEMENT.		ABSORPTION.
Première expérience.	Eponge de platine. hydrogène. . $5^{vol.}$	Lame de platine. oxigène $16^{vol.},5$	Eponge : hydrogène $2.16,5 - 5 = 28^{vol.}$
Seconde expérience.	Eponge. oxigène . . . $3^{vol.}$	Lame. hydrogène $36^{vol.}$	Eponge : oxigène $\frac{36}{2} - 3 = 15^{vol.}$

On a donc par expérience les nombres 28 et 15, qui ne diffèrent que très-peu des nombres 28,8 et 14,4 déduits du calcul.

De plus, en désignant par a, b les quantités d'oxigène et d'hydrogène absorbées par l'éponge lorsqu'elle a été préalablement rougie, et par A et B, les quantités absorbées de ces mêmes gaz, quand celle-ci est saturée d'hydrogène ou d'oxigène, on a d'après ce que j'ai dit plus haut :

$$A = \frac{b}{2} + a. \qquad B = 2a + b$$

$$\text{d'où } \frac{B}{2} = a + \frac{b}{2} \quad \text{et} \quad (1)\ A = \frac{B}{2}$$

D'après l'expérience A = 15, B = 28. Si donc on a égard aux légères erreurs qui ont toujours lieu dans de semblables recherches, on peut regarder la formule (1) comme vérifiée par ces derniers nombres 28 et 15.

En répétant ces expériences avec la même éponge et de l'eau plus conductrice de l'électricité, j'ai obtenu sensiblement les mêmes résultats.

D'après cela l'hydrogène est donc plus absorbé que l'oxigène, dans le rapport de $\frac{16}{6,4}=2,5$.

Avec une autre éponge, un peu plus petite que la précédente, on a obtenu les résultats suivants :

DÉGAGEMENT.		ABSORPTION.
Première expérience.		
Pôle positif : éponge. oxigène . . . . . . $5^{vol.}$	Pôle négatif : lame. hydrogène. . . . $21^{vol.}$	Éponge : oxigène. $\frac{21^{vol.}}{2}-5^{vol}=5^{vol.},5$
Seconde expérience.		
Pôle négatif: hydrogène. éponge ayant servi de pôle positif et étant par conséquent saturée d'oxigène. . . . . . . $3^{vol.}$	Pôle positif : oxigène. lame. . . . . . $13^{vol.},5$	Eponge : hydrogène $2.13^{vol.},5-3=24$

Si on appelle b la quantité d'hydrogène qu'eût absorbée l'éponge si elle avait été préalablement rougie, on a

$$24=2.5^{vol.},5+b \quad \text{d'où} \quad b=13.$$

Donc cette éponge a absorbé l'hydrogène et l'oxigène à l'état naissant dans les proportions suivantes :

$5^{vol.},5$ d'oxigène
$13^{vol.}$ d'hydrogène.

et le rapport d'absorption est $\frac{13}{5,5}=2,4$, peu différent de 2,5 trouvé avec la première éponge.

D'après ces résultats, les gaz n'ont été absorbés qu'en quan-

tité peu considérable, vu que les éponges étaient imbibées d'eau, le volume pris pour unité étant ici de 0,01 cent. cube.

En faisant ces expériences, j'ai vu un fait qui avait été déjà remarqué par Mr. Schœnbein dans d'autres circonstances, savoir, que lorsqu'on a adapté une éponge de platine à l'extrémité d'un fil de même métal, si l'on emploie ce fil comme électrode, tant que l'éponge absorbe du gaz et qu'il ne se dégage rien autour d'elle, le fil reste tel qu'il était; mais du moment que l'éponge a absorbé tout le gaz qu'elle peut prendre, le fil se couvre de petites bulles gazeuses.

Les mêmes expériences ont été faites avec des éponges d'or [1]. Voici les résultats obtenus avec deux éponges différentes.

DÉGAGEMENT.		ABSORPTION.
	Première expérience.	
Pôle positif: oxigène. éponge . . . . . . 1vol.	Pôle négatif: hydrog. lame. . . . . 4vol.	Eponge: oxigène . . . . . 1vol.
Pôle négatif: hydrog. éponge sat. d'oxigène 1	Pôle positif: oxigène. lame 3	Eponge(sat. d'oxigène) hydrogène. 5
Pôle positif: oxigène. éponge sat. d'hydrog. 1	Pôle négatif: hydrog. lame 7	éponge(sat. d'hydrog.) oxigène 2,5
	Seconde expérience.	
Pôle positif: oxigène. éponge . . . . . 12vol.	Pôle négatif: hydrog. lame. 27vol.,5	Eponge: oxigène. . . . 1vol.,75
Pôle négatif: hydrog. éponge sat. d'oxigène 8	Pôle positif: oxigène. lame 8	Eponge(sat. d'oxigène) hydrogène. 8

D'après ce que j'ai dit sur les éponges de platine, on trouve, pour les volumes d'hydrogène absorbés dans le cas où les

[1] J'ai obtenu ces éponges par le procédé ordinaire, qui consiste à précipiter une dissolution de chlorure d'or par le proto-sulfate de fer, et à chauffer doucement dans un petit creuset de terre le précipité ainsi obtenu; l'or qui est en parcelles très-ténues s'agglomère, et suivant la température on a des éponges plus ou moins poreuses.

Les éponges employées ici ont été obtenues en exposant le creuset à la température du rouge naissant.

éponges d'or auraient été préalablement chauffées avant de servir d'électrode négatif :

Première expérience. . . 3^vol.
Seconde expérience . . . 4^vol.,5.

On a donc pour les volumes des gaz absorbés dans les deux expériences :

Première expérience.	hydrogène. . .	3^vol.
	oxigène	1
Seconde expérience.	hydrogène. . .	4,5
	oxigène	1,75

On a donc aussi pour les rapports d'absorption, 3 et 2,56.

D'après ces recherches on voit que, lorsque les éponges d'or sont plongées dans l'eau, et qu'on s'en sert comme d'électrodes, les rapports des gaz absorbés sont à peu près les mêmes qu'avec des éponges de platine [1].

[1] Les expériences de Mr. Becquerel ont quelque analogie avec une partie de celles que nous avons publiées (*Archives de l'Electricité* n° 1, p. 199, etc.) Nous serions disposé à croire que l'éponge de platine ou d'or que l'auteur place alternativement à l'un ou à l'autre pôle, est déjà légèrement oxidée malgré la précaution qu'il prend de la faire rougir avant de la plonger dans le liquide, et que c'est à cette circonstance qu'est due en grande partie la disparition de l'hydrogène quand l'éponge sert de pôle négatif. (A. DE LA R.)

QUELQUES EXPÉRIENCES FAITES AVEC LA PILE DE GROVE, par E. Melly[1]. (*Lu à la Société de Physique de Genève, le 5 mai* 1841.)

En partant des expériences de Becquerel sur la pile à courant constant, puis de celles de Sturgeon et Faraday sur le zinc amalgamé, Grove a construit une nouvelle pile, formée de platine et de zinc, qui produit des effets vraiment extraordinaires, surtout si on a égard au petit volume qu'elle occupe. On sait que l'interposition d'un diaphragme poreux entre deux liquides qui réagissent chimiquement l'un sur l'autre, est un heureux et utile moyen de faire naître des courants électriques énergiques, car cette réaction des deux liquides vient s'ajouter à l'autre grande source d'électricité, c'est-à-dire à l'action chimique d'un des liquides sur le métal oxidable. Daniell avait déjà, d'après cette idée, construit une pile à cloison membraneuse, qui séparait ainsi le cuivre du zinc, et obligeait l'hydrogène naissant à réduire du cuivre métallique[2].

Grove a employé pour des vases poreux la porcelaine à demi-cuite et non vernie; cette terre est un peu perméable aux li-

[1] Les résultats auxquels je suis arrivé dans ces recherches, sont peut-être en partie déjà connus des physiciens plus avancés que moi dans les travaux relatifs à l'électricité; mais n'étant, que je sache, consignés nulle part, peut-être offriront-ils encore quelque intérêt aux personnes désireuses de données pratiques exactes : c'est ce qui fait que je me décide à les publier.

[2] L'auteur devrait ajouter qu'un des avantages que présente l'emploi de diaphragmes poreux, c'est d'empêcher le dépôt sur la surface du métal négatif de l'oxide du métal positif dissous, dans le liquide qui l'attaque. Ce dépôt, en effet, est une des causes les plus puissantes du prompt affaiblissement du courant dans les piles ordinaires. (R.)

quides, elle laisse passer assez librement le courant électrique, et cette espèce de vase poreux inattaquable aux acides permet d'employer un liquide très-bon conducteur, facile à décomposer, et dont l'action est ainsi beaucoup plus énergique.

Cette pile de Grove n'a été malheureusement construite jusqu'ici qu'en Angleterre et à grands frais, ce qui en rend l'usage moins général, et abordable seulement aux physiciens ou chimistes favorisés de la fortune. Je n'ai pu résister au désir d'essayer d'en construire une moi-même, et de la manière la plus économique possible. Peut-être que quelque personne cédant à l'attrait des recherches expérimentales, désirera comme moi se procurer cet instrument; je serai heureux alors de lui faciliter ces essais, en lui indiquant les résultats de ma faible expérience.

La difficulté principale à vaincre était d'obtenir les vases poreux, car la terre que l'on travaille chez nous pour la porcelaine dite opaque, est à la longue assez attaquable aux acides, ce qui est un grave inconvénient pour le cas présent, vu que l'acide employé est toujours très-concentré. Quelques vases que j'avais fait mouler pour ces essais n'ayant donc pas bien répondu à mon attente, je pris pour cellules poreuses de simples têtes de pipes; j'enlevai à la lime la partie vitrifiée extérieure, je bouchai l'extrémité avec un tampon de bois et de la cire, puis j'essayai si la terre ainsi préparée laissait passer le courant électrique. Satisfait du résultat, je me hâtai de construire une pile de 15 paires. Restait seulement à déterminer l'étendue de la surface de zinc, à employer relativement à celle du platine, pour obtenir le maximum d'effet. J'essayai de mettre le zinc dans l'auge poreuse, et le platine en dehors, puis l'inverse; je changeai aussi de plusieurs manières les dimensions relatives des deux métaux, ainsi que leur forme, jusqu'à ce que j'obtinsse un effet plus énergique. Ces divers essais que je ne développerai pas ici, m'amenèrent à reconnaître, comme nous le verrons plus loin, que la meilleure méthode, c'est-à-dire la

plus économique, la plus simple, et cependant la plus active était certainement de mettre le zinc à l'extérieur, et de lui donner une surface au moins double de celle du platine.

Voici maintenant les dimensions de ce petit instrument : Les lames de platine sont très-minces, de 67 millim. de long sur 16 de large, et soudées chacune (avec de l'or fin) à un fil aussi de platine de 1 $\frac{1}{4}$ mill. de diamètre. Les zincs sont faits avec du zinc laminé ordinaire, ils sont cylindriques et bien amalgamés, ils ont 74 mill. de long, et 30 mill. de diamètre ; un fil de cuivre, soudé à l'étain et recouvert de cire, arrive jusqu'au godet plein de mercure qui établit la communication entre le zinc d'une paire et le platine de la suivante [1]. Le vase extérieur qui contient le zinc est un verre à boire ordinaire ; il est plein d'acide sulfurique à $\frac{1}{6}$, c'est-à-dire : eau 5 vol., SO^3 1 vol. ; la tête de pipe est maintenue verticale par le cylindre de zinc ; dans celle-ci, qui est pleine [2] d'acide nitrique à 40° B., plonge la lame de platine. (Pour plus de simplicité les godets de mercure sont creusés dans le bois même de la caisse.) Le bout de chaque fil de cuivre est étamé, précaution qui en conserve beaucoup mieux la surface nette et brillante que l'amalgamation ordinaire au moyen du nitrate de mercure.

Cette disposition a l'avantage d'être très-économique, et facile à construire en tout pays ; d'établir des communications parfaites, et de permettre d'employer à volonté la pile avec tous ses éléments rangés en série lorsque l'on désire des effets d'intensité ; ou bien de réunir les zincs entre eux et les platines entre eux, pour augmenter les surfaces, et obtenir alors des effets de quantité ; ou bien, enfin, de pouvoir encore à volonté

[1] On pourrait simplifier encore et éviter cette soudure, en coupant le zinc de manière à lui laisser une bandelette qui remplacerait très-bien le fil de cuivre.

[2] Il faut 300 cc. d'acide nitrique pour remplir les 15 pipes, et à peu près autant d'acide sulfurique ordinaire pour faire le mélange avec l'eau.



diviser la pile en 3 séries de 5 éléments, ou 5 de 3 éléments, etc..... selon le besoin.

Une fois que la pile est montée, on voit bientôt qu'elle présente dans son action des différences notables avec celle de Wollaston et les autres piles de construction ancienne. Et d'abord *si le circuit n'est pas fermé*, l'acide nitrique reste incolore, et ne paraît subir aucun changement. Le zinc malgré le degré élevé du mélange d'acide sulfurique et d'eau, ne dégage pas de bulles de gaz ; celles qui se forment restent adhérentes au métal, et ne montent point au travers de la liqueur; il n'y a donc pas d'effervescence, le métal ne se dissout que très-faiblement [1].

Si au contraire on ferme le circuit au moyen d'un fil métallique ou d'un liquide à décomposer, le zinc, contrairement à ce qui a lieu dans les anciennes piles, ne dégage pas plus de bulles qu'avant, il se dissout bien mais sans effervescence, l'hydrogène est transporté à la surface du platine dans l'acide nitrique, et là au lieu de se dégager à l'état de gaz, il est pris par l'oxigène de l'acide pour former de l'eau ; du bi-oxide d'azote se sépare, mais ne se dégage pas, il reste dissous dans l'acide, au moins pendant très-longtemps. Cet acide nitrique change donc peu à peu de couleur, comme on pouvait le prévoir : il devient d'abord jaune, puis vert pâle, vert foncé, puis bleu ; l'eau qui se reforme constamment en diminue peu à peu le degré de concentration; alors et naturellement au bout d'un certain temps, le bi-oxide d'azote et enfin l'hydrogène sortent du liquide et se dégagent dans l'air.

[1] J'ai recherché par expérience combien il s'en dissout par heure par exemple, lorsque le circuit n'est pas fermé, et j'ai reconnu que *si le zinc est amalgamé à saturation*, et pour cela à plusieurs reprises par le contact de l'acide sulfurique à 1/6, il ne perd que environ 1/4000 de son poids primitif (environ 30 milligr. par heure). Mais il est pour cela absolument nécessaire que le zinc soit saturé de mercure, car dans d'autres cas où il ne l'était pas, la perte par heure a été jusqu'à 1/160, et même 1/100 du poids primitif.

Voici maintenant quelques expériences qui montreront les effets de ce petit instrument :

I. *Effets de chaleur.*

Avec ces 15 éléments combinés de manière à en former 5 de surface triple (nous verrons plus loin pourquoi), on peut aisément fondre 3 à 4 pouces de fil de fer fin, brûler un ressort de montre contre du coke ou du cuivre (l'acier devient non-seulement rouge-vif, mais il lance dans l'air des étincelles brillantes d'oxide de fer fondu); 3 pouces de fil de platine n° 19 ont été rougis vivement; 6 pouces du n° 21 ont réussi de même, et en diminuant la longueur de ce dernier il a fondu aussitôt en globules. Les étincelles d'un fil de fer, d'acier ou de cuivre contre une lime ou une râpe sont très-belles, et celles que produisent sur le mercure un commutateur et un électro-aimant sont extrêmement vives et brillantes. Les pointes de charbon donnent un point lumineux vif qui, lorsque l'expérience se fait dans l'obscurité, répand assez de lumière pour permettre de lire distinctement à un pied de distance. J'ajouterai à cette occasion qu'au lieu de charbon végétal éteint dans le mercure, que l'on emploie ordinairement, et qui est très-cassant, difficile à fixer, et donne beaucoup de vapeur de mercure, il m'a paru beaucoup plus commode et plus simple d'employer le coke des fabriques du gaz de l'éclairage, ou même le coke ordinaire; le pouvoir conducteur de cette substance la rapprochant des métaux, elle réussit toujours très-bien et donne un point lumineux très-vif. J'ai aussi essayé le charbon de divers bois, la plombagine pure du Cumberland, l'anthracite, la houille, le cannel-coal; comme on pouvait s'y attendre, j'ai eu avec la pile ci-dessus un point lumineux avec les trois premières substances, mais non avec les deux dernières, le bitume qu'elles contiennent s'oppose probablement à leur conductibilité.

II. *Effets chimiques ou de décomposition.*

Comme exemple de décomposition chimique je choisirai l'eau rendue conductrice par une certaine quantité d'acide sulfurique. J'ai employé pour voltaïmètre un verre à boire percé au fond de deux petits trous dans lesquels sont mastiqués deux fils de platine de 8 centimètres de long, et de 1 $\frac{1}{2}$ mill. de diamètre, qui se prolongent en dehors et se terminent en godets; un tube gradué en centimètres cubes, et terminé en haut par un robinet, se place sur ces deux fils et se remplit très-aisément par simple aspiration; une rondelle de bois le tient vertical et fixé à frottement au verre. Le liquide que j'ai employé pour ce genre d'expérience, est de l'acide sulfurique à 1,10 de densité $= 13^{\circ} \frac{1}{2}$ B.; on l'obtient en faisant un mélange de 1 vol. d'acide sulfurique pur à 66° B., et 10 vol. d'eau distillée. Avec ce voltaïmètre, la pile montée convenablement a donné 90 c. c. de gaz dans la minute. Avec un autre voltaïmètre elle a donné jusqu'à 125 c. c. de gaz. (Une pile de Wollaston de 10 éléments, chacun de 4 pouces carrés de surface, et chargée à la manière ordinaire, n'en donne que 24 c. c. par minute). Les 15 éléments suffisent parfaitement pour faire reconnaître cette substance odorante si curieuse dont Mr. Schönbein a commencé l'étude, et qu'il a nommée *ozône*. On en sent parfaitement l'odeur en transvasant le mélange des deux gaz dans l'air, et on l'apprécie encore mieux par le goût, en aspirant avec la bouche le gaz du voltaïmètre, comme pour le remplir de nouveau.

On a pu aussi avec les 15 éléments décomposer même l'eau distillée.

La *potasse solide* creusée en godet, puis remplie de mercure et soumise au courant, a donné un amalgame qui jeté dans l'eau la décomposait fortement en dégageant de l'hydrogène; elle avait donc été décomposée, et le potassium séparé.

L'*hydro-chlorate d'ammoniaque* arrangé de la même manière a donné le gonflement connu du globule de mercure, et cet amalgame jeté dans l'eau a dégagé beaucoup de gaz.

Pour le dire en passant, le *carbonate d'ammoniaque* réussit encore mieux que l'hydro-chlorate; le globule reste brillant, il ne se dégage pas de chlore, et l'on peut continuer l'expérience plus longtemps.

La décomposition du *nitrate de potasse*, du *sulfate de soude*, etc., colorés par une teinture bleue, a été prèsque instantanée, et les changements de couleur très-tranchés. Une manière très-facile et très-commode de faire cette expérience, consiste à étendre sur une lame de verre deux papiers de tournesol, l'un bleu, l'autre rougi par un acide (et tous les deux humectés du sel à décomposer), puis de poser dessus deux fils de platine fixés dans les fentes d'une petite potence, et plongeant dans deux godets de mercure, dans lesquels on fait arriver les pôles de la pile.

III. *Effets magnétiques.*

Ils sont aussi très-intenses, eu égard au petit volume de la pile. J'ai mesuré ces effets au moyen d'un électro-aimant, dont malheureusement la construction laissait beaucoup à désirer [1]; on pourrait donc, j'en suis certain, avec la même pile, les obtenir encore beaucoup plus énergiques.

La pile combinée en 5 éléments triples, a fait porter facilement à l'électro-aimant 120 livres.

Contrairement à ce que je supposais *a priori*, la même pile arrangée en quantité, c'est-à-dire en un seul élément, mais de surface 15 fois plus grande, n'a fait porter que 60 livres au même électro-aimant.

[1] Le fer de cet électro-aimant a 27 mill. de diamètre, 15 centimètres de haut jusqu'à la courbure, et il est recouvert à chaque branche de 200 tours de fils de cuivre isolé, de 1 1/2 mill. d'épaisseur.

Quant aux *effets de tension* de cette pile, j'en ai observé à plusieurs reprises de très-sensibles au moyen de l'électroscope et du condensateur. La divergence des lames d'or avec les 15 éléments en série, est tellement forte qu'elle a risqué plus d'une fois de gâter ce dernier instrument. Un seul des éléments de la pile de Grove a même assez de tension pour charger le condensateur, et faire diverger les lames, effet que l'on n'obtient au moyen des piles anciennes qu'avec un très-grand nombre d'éléments.

Ainsi cette petite pile peut pour les effets calorifiques, chimiques et magnétiques, remplacer avec grand avantage d'autres piles beaucoup plus volumineuses, et de construction ancienne. C'est que tout dans la pile de Grove se trouve dans les meilleures conditions pour donner un effet énergique : le métal générateur est en contact avec la solution qui lui cède l'élément négatif pour lequel il a beaucoup d'affinité ; l'autre solution est très-facilement décomposable par le corps positif, qui de plus ne forme pas de précipité; elle est un très-bon conducteur; enfin le zinc dissous ou oxidé reste entièrement de son côté du diaphragme poreux. (Je n'ai trouvé en effet que des traces d'oxide de zinc dans de l'acide nitrique qui avait servi longtemps pour la pile ci-dessus.)

En voyant l'énorme pouvoir de décomposition de cette petite pile, on est tout étonné de ne pas y trouver d'effet physiologique sensible, car ce genre d'effet est d'ordinaire en rapport avec le premier ; et pourtant en saisissant les deux pôles même avec les mains mouillées, on sent à peine une légère secousse. J'ai pu vérifier cette même observation avec plusieurs autres piles de Grove, de force beaucoup plus considérable.

Une autre observation qui frappe lorsqu'on se sert de la pile de Grove pendant un long intervalle de temps, c'est sa constance, ou plutôt la durée de son action. Cette observation est surtout vraie pour quelques éléments seulement ; et lorsque le courant est ouvert dans les intervalles nécessaires entre les ex-

périences pour les préparer, la pile ne s'affaiblit point, on la retrouve telle qu'on l'avait quittée, prête à redonner aussitôt les mêmes effets, avantage bien précieux pour les expériences de recherche, et que la pile de Daniell possède seule avec celle de Grove. Il y a même, jusqu'à une certaine limite, accroissement d'action avec le temps, à cause du réchauffement des liqueurs, et de la meilleure conductibilité de l'acide nitrique, lorsqu'il retient du bi-oxide d'azote dissous.

Possédant maintenant un instrument commode, dont l'action convenablement employée est durable, et qui quoique très-petit donne cependant des résultats d'une intensité remarquable, je m'en suis servi pour étudier certains effets de décomposition qui m'ont paru curieux. Mais qu'il me soit permis, avant de les indiquer, d'appuyer un instant sur quelques circonstances que j'ai observées avec cette pile, et sur lesquelles je n'avais pu, dans aucun ouvrage, trouver des renseignements certains.

1° *Influence de l'arrangement des éléments et de leur surface sur la décomposition de l'eau.* Il n'est point indifférent de monter la pile de Grove d'une manière ou d'une autre, pour en obtenir le maximum d'effet chimique par exemple ; et cette observation je l'ai vérifiée non-seulement sur la pile ci-dessus, mais aussi sur plusieurs autres que j'ai construites depuis, d'après le même système, et de force beaucoup plus considérable encore.

Si l'on décompose successivement l'eau sulfurique à $\frac{1}{11}$ au moyen de 1, 2, 3, 4 éléments, jusqu'au dernier, et que l'on tienne note de la quantité de gaz obtenue dans le voltaïmètre à chaque expérience, on voit bientôt, en comparant l'effet de l'addition d'un élément à celui de l'addition du précédent, que l'augmentation du nombre des paires pour accroître l'effet de décomposition, a une limite fixe, au delà de laquelle on ne gagne presque rien à ajouter de nouveaux éléments à la suite des premiers. Cette limite est ordinairement placée, dans les diverses piles que j'ai étudiées, vers le quatrième élément,

C'est ce qui ressort d'une manière évidente du tableau A, où l'on voit réunies diverses séries de décomposition de la même eau acide que j'ai obtenues au moyen de piles très-différentes pour la force, mais chargées des mêmes liquides. Par exemple avec la pile n° 1, les différences sont d'abord 9, 10, 10, puis 6 $\frac{1}{2}$, 2 $\frac{1}{2}$, etc., 1 $\frac{1}{2}$, 1; donc le maximum est bien placé vers le 4e élément. De même avec la pile n° 7, les différences successives étant 75, 75, 75, puis ensuite 55, 30, 40. . . . . . on voit encore ici le maximum placé vers le 4e élément. Le numéro 4 donne les mêmes résultats. Le n° 2 seul donne le maximum vers le 3e élément, et cela tient je crois à quelque circonstance accidentelle. On doit en effet, dans ces expériences, s'attendre à de légères variantes dues soit aux différences d'épaisseur de chaque diaphragme poreux, soit aux légères différences de distance entre les zincs et les auges, soit à d'autres causes encore. Les nombres de la pile n° 3, qui ne diffère du n° 2 que parce que le zinc est de surface double et placé extérieurement à l'auge, comparés à ceux de la colonne précédente, montrent la supériorité de cette construction, ce qui est bien précieux sous le point de vue économique, puisque ainsi, étant donnée une certaine étendue de platine, on peut en le mettant dans l'auge même, se procurer une pile tout aussi forte, et même plus forte que si on le met à l'extérieur et doublé.

La même expérience de décomposition de l'eau, faite en se servant d'une pile de Daniell, montée alternativement avec des baudruches ou des cylindres de bois mince, a donné aussi le maximum au 4e élément, comme l'indique le même tableau; il m'a paru assez curieux que le maximum se trouve placé au même point dans deux piles aussi différentes que le sont celles de Daniell et de Grove.

Il résulte entr'autres, des expériences précédentes, une conséquence pratique intéressante, c'est que pour augmenter le pouvoir décomposant de la pile de Grove, il ne faut point aug-

menter indéfiniment le nombre des éléments, mais au contraire les allier 5 à 5, ou plutôt même 4 à 4, pour mieux en utiliser l'action. Ainsi étant donnés 15 éléments par exemple, pour décomposer l'eau acide, il vaut beaucoup mieux réunir ces éléments en 3 séries de 5 à surface triple, que de les mettre à la suite les uns des autres. De même, étant donnés 12 éléments, on devra les arranger en 2 séries de 4 éléments chacune. Etant donnés 10 éléments, on les mettra en 2 séries de 5 éléments, et ainsi de suite.

C'est ce que l'expérience confirme en effet, comme le montre le tableau B. On y voit que la même quantité de platine et de zinc, arrangée en groupes de 5 éléments, est remarquablement plus favorable pour la décomposition de l'eau que l'arrangement en série; ainsi, pour la pile n° 1, dix éléments rangés en série donnent 46 c. c. de gaz par minute, et ces mêmes 10 rangés en 5 éléments de surface double, donnent aussitôt 60 c. c., c'est-à-dire un accroissement d'effet d'environ $\frac{1}{3}$; 15 éléments en série donnent 51 c. c., les mêmes rangés en 5 triples donnent 86 c. c., c'est-à-dire que l'effet est accru ici des $\frac{2}{3}$ de ce qu'il était. La pile n° 7 offre un accroissement du même genre, mais un peu moins considérable, probablement parce qu'ici la surface du platine est déjà très-grande.

J'ai été curieux d'essayer si le voltaïmètre à fils de platine que j'avais employé jusque-là, laissait bien passer tout le courant produit, sans offrir de résistance sensible, et si, en augmentant la surface des électrodes, je n'obtiendrais pas encore plus de gaz avec le même nombre d'éléments. Pour m'en assurer, je construisis un autre voltaïmètre à lames de platine, de 5 $\frac{1}{2}$ centimètres de long, sur 22 millimètres de large, placées à 3 mill. de distance. Ce voltaïmètre, fait avec une petite cloche ouverte, est surmonté d'un bouchon muni d'un tube recourbé, que l'on fait arriver dans un vase plein d'eau, où l'on mesure le gaz très-commodément avec un tube divisé. Je montai la

pile n° 1 en 5 éléments triples, puis j'étudiai la décomposition de l'eau sulfurique à $\frac{1}{11}$ alternativement avec ces deux instruments. Voici en nombres les résultats de ces diverses expériences :

Voltaïmètre à fils.	Voltaïmètre à lames.
85 c. c. par minute.	95 c. c.
87 $\frac{1}{2}$	96
88	115
90	122
91	125
91	125

Ce tableau montre à la fois, pour chaque voltaïmètre isolément, l'accroissement d'action avec le temps, et la supériorité bien tranchée du voltaïmètre à lames, surtout à mesure que le courant augmente lui-même d'énergie. Cette supériorité est même sensible pour 5 éléments simples, car l'expérience faite de la même manière donne encore ici en moyenne une différence de 5 c. c. sur 40, soit $\frac{1}{8}$ en faveur du voltaïmètre à lames. Il est donc très-important pour obtenir l'effet chimique maximum d'une pile (dans la décomposition de l'eau par exemple), d'employer un voltaïmètre à larges lames, et cela *a fortiori* pour les piles plus énergiques encore. Je m'en suis assuré à plusieurs reprises avec la pile n° 7; les différences sont très-considérables.

Enfin une autre circonstance que j'ai désiré déterminer expérimentalement, *c'est la marche de la pile de Grove en rapport avec le temps*. Or cette marche est ici croissante à l'inverse des anciennes piles, et cela quelle que soit sa construction. C'est ce que montre le 3e tableau C, dans lequel on voit que la pile n° 1, qui au premier moment où l'on ferma le circuit donna 65 c. c. de gaz par minute, en donnait 87 c. c. 1 $\frac{1}{2}$ heure plus tard, et 89 4 heures après ; tandis qu'une pile de Wollaston aurait, comme l'on sait, perdu presque toute son

énergie au bout d'1 $\frac{1}{2}$ heure environ. (Voici en effet les résultats que m'ont donnés 10 éléments Wollaston de 16 pouc. carr., chargés à la manière ordinaire : au commencement, moyenne de 8 expériences faites toujours avec le même voltaïmètre, 24 c.c.; au bout d'une heure seulement, la nouvelle moyenne de 8 autres expériences n'était plus que 10 c. c., un peu plus tard 5 c. c., etc.) Une autre pile de Grove beaucoup plus forte, que j'ai construite plus tard, m'a donné au premier moment 420 cent. cub., et 2 heures après 480 c. c., c'est-à-dire $\frac{1}{7}$ de plus. Cet accroissement d'énergie me semble avoir sa cause d'abord dans le réchauffement produit dans l'intérieur de la pile par l'action chimique qui s'y développe, les liquides ainsi réchauffés conduisant mieux le courant; ensuite, dans la dissolution graduelle du bi-oxide d'azote dans l'acide nitrique : en effet les expériences de Faraday (consignées dans la 17e série) prouvent nettement que l'acide nitrique devient alors beaucoup meilleur conducteur.

Il va sans dire que la rapidité de cet accroissement dépend de la nature des expériences que l'on fait avec la pile ; c'est le passage du courant dans l'eau pour la décomposer, ou au travers des fils métalliques, qui m'a paru fatiguer le plus la pile et accélérer le plus son effet maximum.

Un chimiste, qui pour ses analyses possède toujours quelques creusets de platine, peut facilement les convertir en éléments de pile, et en un instant sans dénaturer le moins du monde aucun d'eux; il n'a pour cela qu'à se procurer autant de vases poreux que d'ustensiles de platine, remplir à moitié ces vases d'acide nitrique ordinaire, y plonger les creusets en les lestant au fond avec quelque corps pesant (gravier, sable, briques, etc.), puis rouler en forme de cylindres quelques morceaux de zinc ; un fil de cuivre bien décapé, qui recourbé et sans aucune soudure fait ressort dans le creuset de platine, servira de fil conducteur. J'ai fait souvent un arrangement de ce genre avec 4 petits creusets d'analyse, et cette pile m'a donné en moyenne

15 c. c. de gaz mêlés par minute; elle décomposait très-bien le nitre dissous, et même le sel ammoniac solide.

Enfin on pourrait encore, comme Cooper l'avait indiqué, construire la pile de Grove avec du charbon. Ce corps étant, dans de certains états, très-bon conducteur de l'électricité, il peut dans ce cas remplacer le platine, ce qui pour des éléments à grande surface présenterait une immense économie. Il est vrai qu'à surface égale, il est passablement inférieur au platine; mais comme l'on peut sans inconvénient et sans dépense en augmenter la surface, l'inconvénient est minime. J'ai fait quelques essais avec de la plombagine pure d'Angleterre, et avec celle du commerce; j'en ai fait d'autres avec le coke provenant des fabriques de gaz d'éclairage; et ces essais m'ayant réussi, j'espérais que le coke ordinaire, substance beaucoup plus répandue et en plus gros morceaux, pourrait servir aussi. Or cette espérance a été réalisée. Deux couples seulement, formés de coke et zinc, les cokes plongeant de deux pouces environ dans des vases poreux pleins d'acide nitrique à 40°, les zincs étant extérieurs et plongés dans de l'acide sulfurique à $\frac{1}{6}$, donnent en moyenne 8 c. c. de gaz par minute, et cela régulièrement et durant plusieurs heures, car ces 8 c. c. sont la moyenne de 18 expériences, dont le minimum était 7 $\frac{1}{4}$, et le maximum 8 $\frac{1}{2}$. De plus, ces deux seuls éléments donnent même avec les pointes de coke un petit point lumineux, faible il est vrai, mais bien visible. Ces deux mêmes éléments aimantent assez fortement un électro-aimant en fer à cheval, et décomposent facilement le nitrate de potasse dissous. 4 paires, coke et zinc, essayées en série pour la décomposition de l'eau sulfurique à $\frac{1}{11}$, m'ont donné les nombres suivants :

Eléments.	Minutes.	Gaz mêlés	Différences.
1	1	0	»
2	1	8	8
3	1	14	6
4	1	16 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$

Donc avec les 4 morceaux de coke on obtient autant d'effet de décomposition par exemple, qu'avec les 4 creusets de platine rangés en pile, et à peu près autant qu'avec 3 des éléments de notre pile à têtes de pipes.

Je passe maintenant, pour terminer ces notes, à quelques autres effets de décomposition que j'ai obtenus avec la pile, et surtout avec celle de Grove ; j'ai employé, pour les expériences suivantes, soit la pile n° 1 du tableau A, soit celle n° 7 que j'ai construite plus tard, et qui, étant beaucoup plus considérable, m'a donné des résultats encore plus prononcés, plus prompts et plus énergiques.

Chacun sait que certains corps composés résistent opiniâtrement au pouvoir décomposant de la pile, quelle que soit sa force. Ces corps sont toujours mauvais conducteurs de l'électricité, et des expériences rigoureuses soit de Mr. De la Rive, soit de Faraday, ont prouvé que la conductibilité et l'électrolysation sont absolument dépendantes l'une de l'autre. En effet, plus un corps est conducteur, plus il est facilement décomposé; s'il n'est pas du tout conducteur, il est indécomposable et vice versâ. Ces corps non conducteurs sont les huiles grasses, les huiles essentielles, l'éther, certains chlorures, etc.

Or il est pourtant facile de déeomposer ces divers corps avec la pile, mais en se servant de celle-ci d'une manière différente qu'on ne le fait d'ordinaire. Lorsqu'après avoir fermé le circuit de la pile, en appliquant l'un contre l'autre les deux conducteurs, on l'ouvre en les séparant, il en jaillit une étincelle assez vive qui dépend de la force de la pile et de sa tension. Or voici ce que démontre l'expérience : Si l'on opère cette interruption brusque dans l'intérieur même d'un liquide conducteur, ce dernier est décomposé, et l'on voit apparaître de petites bulles gazeuses qui montent au travers, et viennent crever à la surface. J'ai fait cette expérience de plusieurs manières; en voici une par exemple : Un tube de verre (de 8 lignes de diamètre, et 3 pouces de haut) est fermé d'un côté par

un bouchon ; ce bouchon est traversé par deux fils de cuivre verticaux placés à 3 lignes de distance environ, et qui plongent tous deux en dehors dans le même godet de mercure, auquel arrive un des pôles de la pile ; en tenant à la main un fil qui communique avec l'autre pôle de la pile, on touche alternativement avec ce fil l'un des deux premiers, et à chaque interruption du circuit une étincelle brille. Si maintenant l'on remplit le tube d'huile d'olive par exemple, la décomposition a aussitôt lieu à chaque étincelle, et les bulles montent peu à peu.

Le même genre d'expérience, répété avec divers autres liquides non conducteurs et non décomposés jusqu'ici par la pile, réussit de même.

Mais il importait, pour examiner et constater la décomposition, de recueillir les gaz et de les analyser. Le petit appareil précédent ne se prêtant pas bien à cette recherche, j'en employai un autre *B* qui me permit, soit de recueillir les gaz qui se dégageaient, soit de multiplier davantage le nombre d'étincelles dans un temps donné, et par conséquent d'obtenir plus de gaz. Un tube est fermé en bas par un bouchon traversé d'un seul fil de cuivre ou de platine, qui ressort de 6 à 8 lignes des deux côtés ; le bout inférieur plonge dans un godet de mercure qui reçoit l'un des pôles de la pile ; un autre tube plus petit est muni en haut d'un autre bouchon qui reçoit à frottement un long fil de cuivre ou de platine, qui arrive presque au bas dudit tube, et plonge par l'autre bout dans l'autre godet de la pile. On remplit les deux tubes du liquide à décomposer, on fait entrer le second dans le premier, les deux fils métalliques se touchent, le circuit de la pile est fermé ; puis, dès que l'on soulève légèrement le petit tube, les deux fils métalliques n'étant plus alors en contact, une étincelle brille, quelques bulles se forment et montent dans le même tube qui sert de cloche, et les conserve au fur et à mesure qu'elles se dégagent par les interruptions successives. On peut facilement opérer

ainsi plus d'une centaine de ces étincelles par minute, en accoutumant sa main à cette espèce de mouvement de va et vient, car il n'est pas besoin de soulever beaucoup le fil, un mouvement de moins d'un dixième de ligne suffit; la seule chose nécessaire, c'est que le contact des deux fils cesse un instant.

On peut faire ces expériences d'une manière encore plus commode, en opérant la petite secousse, qui interrompt le circuit et donne les étincelles dans le liquide, au moyen d'un levier que soulève par l'extrémité une roue à larges dents placée à l'axe d'une petite manivelle que l'on meut à la main ou avec un rouet : au milieu du levier est suspendu à un crochet le petit appareil de décomposition que nous venons de décrire, et deux godets de mercure convenablement arrangés reçoivent les deux pôles de la pile. On peut encore faire mouvoir une roue dentée dans le liquide même à décomposer, placé dans un tube de verre qui surmonte un cylindre de bois; un levier de cuivre qui presse constamment sur la roue, communique avec l'un des pôles, l'axe de la roue avec l'autre pôle : on obtient ainsi à volonté une série d'étincelles, ou lente ou très-rapide. (Il est bon pourtant de remarquer ici qu'on n'accroît pas indéfiniment la décomposition par la rapidité, c'est-à-dire par le nombre des étincelles; il y a une limite facile à saisir.)

J'ai décomposé ainsi un très-grand nombre de fois avec ces divers appareils chacun des corps suivants : l'huile d'olive, l'essence de térébenthine, l'éther sulfurique, l'alcool absolu, l'alcool à 36°, le naphte ordinaire, le naphte pur, le sulfure de carbone, le chlorure de soufre et l'eau distillée, substances qui la plupart sont tout à fait indécomposables par le *courant* de la pile, c'est-à-dire lorsque les électrodes plongés dans le liquide sont *constamment à distance* l'un de l'autre.

En général on observe à la fois dans ces expériences deux faits différents l'un de l'autre : une vaporisation du liquide et une décomposition; la première étant naturellement d'autant

plus forte que le liquide employé a son point d'ébullition placé plus bas. Voici maintenant quelques détails relatifs à ces divers corps :

Essence de térébenthine. Lorsque les fils sont à distance, on ne voit aucun changement quelconque, mais dès qu'on produit des étincelles, il se fait aussitôt un dégagement de bulles gazeuses assez grosses qui s'élèvent régulièrement, et au bout de peu de temps on aperçoit un léger dépôt de charbon qui reste en suspension dans le liquide et le rend louche. Lorsque l'on oblige les fils à rester en contact ou plutôt séparés seulement par quelques atomes de ce charbon déposé, il se produit un grand dégagement de chaleur dans la liqueur, et l'on observe le long des fils un filet ascendant de térébenthine chaude. Le gaz obtenu est un mélange d'hydrogène carboné et d'hydrogène.

L'*éther sulfurique* donne lieu aux mêmes observations : les étincelles qui le traversent ont beaucoup d'éclat et produisent, outre les bulles ordinaires de gaz, beaucoup de bulles de vapeur qui arrivées au haut du tube se condensent peu à peu par le refroidissement de l'appareil, et repassent à l'état liquide ; la liqueur remonte un peu dans la cloche, mais il y reste toujours une quantité considérable de gaz, que l'on peut encore augmenter en recommençant la série d'étincelles ; donc il y a bien encore ici décomposition. Le dépôt de charbon est faible, il louchit légèrement l'éther.

Huile d'olive. A distance, rien; mais à chaque étincelle, bulles moins nombreuses que dans le cas précédent, et passablement plus grosses ; de même encore une couche noire de charbon se dépose sur les fils, et reste en suspension dans la liqueur ; ce dépôt est aussi plus abondant que dans l'essence de térébenthine.

L'*alcool absolu* présente les mêmes faits que l'éther.

L'*alcool à* 36° de même aussi.

Le *naphte pur* donne de brillantes étincelles très-blanches, et une décomposition du même genre que les précédentes.

Le *sulfure de carbone*. A distance, point de décomposition ; mais à chaque étincelle, lueur très-blanche et décomposition rapide. Vaporisation du sulfure de carbone, car le liquide remonte quelque temps après ; point de gaz, les fils de cuivre deviennent gris par la formation du sulfure, et un autre corps gris brillant en lamelles reste en suspension dans la liqueur : c'est du charbon qui pour l'aspect ressemble au graphite, ou plutôt un charbon déposé par la décomposition de l'essence de térébenthine dans un tube de porcelaine rouge.

Chlorure de soufre. Rien non plus à distance ; mais avec les étincelles décomposition rapide, production de vapeur et de gaz : c'est peut-être de l'acide hydrochlorique déjà préexistant dans la liqueur, ou de l'hydrogène ; dépôt gris de sulfure sur les fils de cuivre, et corps jaune-sâle en suspension ; c'est du soufre.

Enfin l'*eau distillée*. Comme ce corps ne peut pas dans sa décomposition présenter de produits médiats ni de transformation, il se prête beaucoup mieux à l'observation que les précédents. De l'eau parfaitement pure et privée d'air a été mise dans un appareil en verre un peu plus grand, et construit avec des fils de cuivre neufs et parfaitement propres : les étincelles ont eu lieu sous l'eau comme sous les autres liquides ; des bulles nombreuses se sont dégagées, le liquide s'est réchauffé et a changé de couleur, à cause d'un corps brunâtre qu'il tenait en suspension. En continuant un peu longtemps l'expérience, il fut facile d'obtenir assez de gaz et assez de dépôt pour les examiner l'un et l'autre. Ce dernier avait toutes les propriétés du protoxide de cuivre ; quant au gaz, il fut transvasé dans un eudiomètre. En faisant détoner, il y a eu recomposition partielle, donc ce n'était pas de la vapeur, mais l'eau a bien été décomposée ; après la détonation il est resté un résidu gazeux à peu près égal au quart du volume primitif. Soupçonnant que ce devait être de l'hydrogène, puisqu'une partie de l'oxigène de l'eau avait été prise pour former le protoxide de cuivre, j'ajou-

tai à ce résidu gazeux de l'oxigène pur et fis de nouveau détoner : il y eut recomposition et ascension de l'eau dans l'eudiomètre. Donc l'eau distillée a bien été ici décomposée par l'étincelle ; une partie seulement de l'oxigène dégagé s'est portée sur le cuivre pour l'oxider, le reste a conservé l'état gazeux, et s'est dégagé avec l'hydrogène au haut de la cloche.

Désireux d'obtenir nettement et en entier les deux gaz de l'eau, je construisis un autre petit appareil du même genre, mais où je remplaçai les fils de cuivre par des fils de platine. Je le remplis de même d'eau distillée privée d'air. Mis absolument dans les mêmes circonstances que le précédent, à ma grande surprise cet appareil ne me donna point de gaz, ou seulement une très-petite bulle de $\frac{1}{4}$ de ligne environ, après un passage d'étincelles extrêmement long. De plus l'eau, qui au commencement était parfaitement limpide, devint gris-noirâtre, un corps gris-noir se tint en suspension d'abord près des extrémités des deux fils, puis se répandit peu à peu dans tout l'appareil, et rendit l'eau complétement opaque. Je recueillis cette poudre noire, et, pensant qu'ici ce pouvait être du platine divisé, je la fis bouillir avec de l'eau régale pure : la dissolution concentrée par l'évaporation était jaune brunâtre, un sel ammoniacal ou un sel de potasse la précipitaient également en jaune paille ; ce précipité jaune, séché, rougi et lavé, a donné un corps gris parfaitement métallique : c'était donc bien du platine divisé qui s'était formé, et qui en suspension dans la liqueur la rendait noire.

Maintenant pourquoi n'obtient-on pas de gaz avec les fils de platine, tandis qu'avec ceux de cuivre on en a abondamment ? Cela vient-il de ce que l'étincelle seule ne décompose pas l'eau distillée, et de ce qu'il faut la présence d'un corps qui ait de l'affinité pour l'un des gaz afin de déterminer la décomposition ? Ou bien l'eau distillée est-elle réellement décomposée, et le platine divisé provient-il aussi dans ce cas comme dans les autres, d'une série d'oxidations et de désoxidations du fil, et

lorsqu'il s'en trouve en suspension autour des fils, recombine-t-il les deux gaz au fur et à mesure? C'est ce que je n'ose décider ; mais la formation du platine divisé dans ces circonstances m'a paru très-intéressante, et pourrait peut-être éclaircir quelques points du transport mécanique des molécules entre deux pointes conductrices, fait encore mal expliqué.

Enfin on peut aussi opérer la décomposition de l'eau pure par l'étincelle, avec un corps non métallique ; on réussit très-bien avec le coke retiré de la fabrication du gaz de l'éclairage qui est très-bon conducteur. Deux pointes de coke, fixées aux deux pôles de la pile, ont été plongées dans un vase de verre plein d'eau distillée : à la distance d'une ligne la décomposition est nulle ou presque nulle ; dès qu'on les met en contact, le point lumineux ordinaire se produit sous l'eau, son éclat est très-vif, et il se fait aussitôt un abondant dégagement de gaz en très-grosses bulles, accompagné d'un bruit qui ressemble à celui de l'ébullition. J'ai recueilli environ 50 cent. cubes de ce gaz dans 2 à 3 minutes, puis je l'ai analysé avec l'eudiomètre ; il est composé presque en entier d'hydrogène mêlé d'une faible quantité d'acide carbonique [1]. Donc ici encore, comme dans le cas des fils de cuivre, l'eau est décomposée par l'étincelle, son oxigène est pris à l'état naissant pour faire de l'acide carbonique qui reste en partie dissous dans l'eau même, et l'hydrogène se dégage presque pur.

Remarquons, en terminant ces détails, que l'on peut augmenter considérablement la décomposition des corps non conducteurs opérée par l'étincelle, en faisant passer le courant de

[1] J'ai observé à plusieurs reprises que ce gaz avait une odeur très-sensible, ressemblant à de l'hydrogène phosphoré. Cette odeur provient-elle de quelque phosphure contenu dans le coke employé? C'est peu probable, car on la sent également en faisant l'expérience avec du charbon de bois ou du coke ordinaire. Cette odeur est d'ailleurs très-différente de l'ozône de Mr. Schönbein, qui ne m'a paru se dégager que dans l'électrolysation de l'eau acidulée, c'est-à-dire dans sa décomposition par des fils de platine toujours placés à distance.

la pile au travers d'un long ruban de cuivre enroulé en spirale (Henry's Coil), ou au travers d'une bobine électro-magnétique. Avec ce dernier instrument (formé d'un tube de tôle sur lequel est enroulé un gros fil de cuivre isolé qui fait 350 tours) et une pile de trois petits éléments seulement, la décomposition des huiles, de l'éther et de l'eau distillée se fait aussi bien qu'avec une très-grande pile de Grove de 10 éléments, chacun d'une surface douze fois plus grande, employée sans bobine ; et avec cette dernière pile jointe à la bobine, les décompositions sont alors d'une énergie remarquable. Toutes les expériences détaillées ci-dessus ont été répétées en mettant la bobine dans le circuit ; elles se sont reproduites absolument les mêmes, et chacune avec plus d'intensité qu'avant ; donc les étincelles dues au courant d'induction, jouissent des mêmes propriétés de décomposition que l'étincelle ordinaire de la pile, et même elles agissent encore plus fortement.

Que conclure maintenant sur la cause de ces diverses décompositions des corps non conducteurs ou très-mauvais conducteurs ? C'est, il me semble, que dans ces divers cas la décomposition n'est point réellement électro-chimique, mais qu'elle est due à une température extrêmement élevée, agissant sur de très-petites particules de matière. La chaleur produite est immense, puisqu'il y a étincelle ; elle n'agit que sur une ou deux molécules en contact avec elle ; elle est donc extrêmement puissante, et la preuve que c'est bien, comme en chimie, la chaleur produite qui décompose, c'est que la vaporisation accompagne toujours ici la décomposition.

Mais comment se fait-il que l'étincelle électrique puisse dans certains cas décomposer, et dans d'autres produire la recomposition ; d'un côté séparer les éléments des corps non conducteurs, et de l'autre recombiner les gaz dans l'eudiomètre ? Cette contradiction n'est, je crois, qu'apparente, et n'est peut-être qu'un de ces effets de masse si bien étudiés jadis par Berthollet ; ou peut-être que d'une part l'étincelle, en comprimant

fortement *les deux gaz*, fait mieux pénétrer les molécules de l'un dans les interstices laissés par l'autre, par conséquent les rapproche jusqu'à la distance nécessaire pour que l'affinité s'exerce ; tandis que d'autre part la même étincelle, en dilatant les particules *des huiles*, par exemple, éloigne facilement les molécules de chacun des gaz qui les constituent jusqu'au delà de leur sphère d'attraction, et alors la tendance à prendre l'état gazeux l'emporte. La mauvaise conductibilité du liquide donne à l'étincelle encore plus de force, puisqu'elle en augmente la tension.

La pile possède donc deux pouvoirs de décomposition très-différents l'un de l'autre : le *courant*, qui donne entre deux fils toujours séparés la décomposition réellement électro-chimique, c'est-à-dire accompagnée du transport régulier des éléments mis à nu ; et l'*étincelle*, qui décompose comme source de chaleur, mais moléculairement pour ainsi dire, et cette nouvelle manière de faire pénétrer de la chaleur au milieu même d'un liquide peut, à ce qu'il me semble, être utile dans l'étude de quelques corps, et se prêter mieux que toute autre à certaines recherches de science. C'est pourquoi j'ai cru devoir en dire ici quelques mots, tout en regrettant vivement que ce travail ne soit pas plus complet ; mais le temps m'a manqué pour pousser plus loin ces recherches ; je me propose de les reprendre plus tard, si c'est possible, pour étudier, selon les bons conseils de Mr. De la Rive, la décomposition de quelques autres substances, et en particulier celle de certains corps isomères, en analysant nettement les produits de la décomposition.

Je ne finirai pas sans rappeler que Wollaston déjà en 1801, et Bonijol en 1830, avaient réussi à décomposer certains corps non conducteurs par un tout autre moyen, c'est-à-dire par la machine électrique. Les effets plus lents produits dans ces cas par la machine à frottement, sont-ils aussi dus à la chaleur dégagée par l'étincelle, ou plutôt la machine pourrait-elle produire aussi deux classes de décomposition, l'une par courant,

l'autre par étincelle? On pourrait le présumer d'après quelques expériences de Faraday mises en regard de celles de Wollaston; mais c'est ce que je laisse à d'autres à décider, n'ayant pas encore moi-même suffisamment étudié ce sujet [1].

Dimensions des diverses piles ci-contre.

N° 1. *Pile à têtes de pipes.* Platine plongé 67 mill. sur 16. Zinc plongé, cylindre de 74 mill. de haut sur 30 de diamètre.
N° 2. *Pile à auges carrées.* Platine plongé 15 cent. sur 7. Zinc plongé 6 cent. de haut sur 6 de large.
N° 3. *Idem à zinc double.* Platine plongé 6 cent. sur 6. Zinc double 7 cent. de haut sur 7 de large.
N° 4. *Pile de Daniell à baudruches.* Cuivre cylindr., 18 cent. sur 4 1/2 de diamètre. Zinc cylindr., 17 cent. de haut sur 3 de diamètre.
N° 5. *Pile de Daniell à cylindres de bois.* Mêmes dimensions qu'au n° 4.
N° 6. *Pile de coke ordinaire.* Coke plongé cylindr., environ 6 cent. de long sur 4 de diamètre. Zinc cylindr., 6 1/2 cent. de haut sur 7 de diamètre.
N° 7. *Pile à auges longues.* Platine plongé 18 cent. de long sur 5 1/2 de large. Zinc double plongé 18 cent. de long sur 6 1/2 de large.

[1] L'auteur nous paraît distinguer avec raison les deux cas de décomposition obtenus avec l'électricité ordinaire : celui où les produits de la décomposition sont transportés comme ils le sont par l'emploi de la pile, et celui où ces produits demeurent, au contraire, réunis autour de chacun des fils. Le premier cas se présente quand le courant de la machine électrique est rendu aussi continu que possible, c'est alors un phénomène tout à fait électro-chimique ; le second cas a lieu, au contraire, quand la décharge s'opère par étincelles, et il est probable alors que l'effet est dû à la chaleur de l'étincelle électrique qui, toute condensée sur quelques particules, peut y déterminer les effets chimiques de décomposition. (R.)

A

Gaz mêlés (mesurés en centimètres cubes) recueillis par minute de la décomposition de l'eau sulfurique à $\frac{1}{11}$ avec divers fils.

Voltaïmètre à fils de 8 cent. de long, 1 1/2 mill. d'épaisseur, 6 mill. de distance.

Nombre d'éléments	1 Pile de Grove à têtes de pipes.		2 Pile de Grove à auges carrées.		3 Même pile avec zinc double extérieur.		4 Pile de Daniell à baudruches.		5 Pile de Daniell avec cylindres de bois.		6 Pile de coke ordinaire.		7 Grande pile de Grove à auges longues.	
		différence		différence		différence		différence		différence		différence		différence
1	presq. 0		presq. 0		0		0		0		0		0	
2	9	9	19 1/2	19 1/2	presq 0	0	presq 0	0	presq. 0	0	8	8	75	75
3	19	10	42 1/2	23	20 1/2	20 1/2	6	6	4 1/3	4 1/3	14	6	180	75
4	29	10	58	15 1/2	50	29 1/2	28 1/2	22 1/2	9	4 2/3	16 1/2	2 1/2	255	75
5	35 1/2	6 1/2	68	10	76	26	41	12 1/2	12 2/3	3 2/3			310	55
6	38	2 1/2	77	9	82	6	49	8	15 2/3	2 2/3			340	30
7	40 1/2	2 1/2	84	7			57	8	18	2 2/3			380	40
8	43	2 1/2	90	6			65	8	20	2			420	40
9	44 1/2	1 1/2	94	4									450	30
10	46	1 1/2	97	3									480	30
11	47	1	100	3										
12	48	1	102	2										
13	49 1/1	1 1/4												
14	50	3/4												
15	51	1												

Note. Cette pile de 10 élém. seulement, fait aisément rougir 30 cent. de fil de platine de 1 mill. de diam. Tous les autres effets sont en proportion.

B

Influence de l'arrangement des éléments et de l'augmentation de leur surface, sur la décomposition de l'eau. (Même voltaïmètre à fils.)

Très-petite pile de Grove.

Eléments.	Minutes.	Gaz mélangés.	Accroissement d'effet.
5	1	9 c. c.	
10	1	12	....2 $\frac{1}{2}$ soit $\frac{1}{5}$ environ.
5 doubles	1	14 $\frac{1}{2}$	

Pile de Grove dite à têtes de pipes. (N° 1.)

Eléments.	Minutes.	Gaz mélangés.	Accroissement d'effet.
5	1	35 $\frac{1}{2}$ c. c.	
10	1	46	.........14 soit $\frac{1}{3}$
5 doubles	1	60	
15	1	51	.........35 soit $\frac{2}{3}$
5 triples	1	86	

Grande pile de Grove à auges longues. (N° 7.)

Eléments.	Minutes.	Gaz mélangés.	Accroissement d'effet.
5	1	320 c. c.	
10	1	450	.........50 soit $\frac{1}{9}$
5 doubles	1	500	

C

Augmentation d'énergie croissant avec le temps.

Très-petite pile de Grove.

Eléments.	Minutes.	GAZ MÊLÉS OBTENUS. Au commencement.	1 heure après	2 heures après.
5	1	8 $\frac{1}{3}$ c. c.	9 c. c.	9 $\frac{2}{3}$ c. c.

Pile de Grove dite à têtes de pipes. (N° 1.)

Eléments.	Minutes.	Au commenc.	1/2 h. après.	1 1/2 h. après.	2 1/2 h. après.	4 h. après.
5	1	65 $\frac{1}{3}$ c.c.	86	87	89	89

Même pile un autre jour. (N° 1.)

Eléments	Minutes.	Au commenc.	1 1/2 h. apr.	2 h. apr.	4 h. apr.	5 h. apr.	6 1/2 h. apr.
5	1	77 c. c.	80	84	85	88	90

Grande pile de Grove à auges longues. (N° 7.)

Eléments.	Minutes.	Au commencement.	1 heure après.	2 heures après.
10	1	420 c. c.	450	480

SUR L'ACTION CHIMIQUE DU COURANT VOLTAÏQUE. Sixième Mémoire, par Mr. Ch. Matteucci.

Après avoir établi d'une manière générale la loi découverte par Faraday, de l'action chimique définie du courant électrique, j'ai poursuivi mes recherches dans le but de découvrir le véritable rapport qui doit exister entre les affinités chimiques qui réunissent les éléments d'une combinaison quelconque, et les forces électriques qui sont nécessaires pour les vaincre. Je rappellerai en peu de mots l'état actuel de nos connaissances sur ce point.

Depuis les premières découvertes de Berzélius, Davy, Becquerel, etc., etc., on a toujours admis que les différentes combinaisons se laissent décomposer plus ou moins facilement par le courant électrique. Faraday, par ses célèbres travaux, a beaucoup accru nos connaissances sur ce sujet : c'est en partant du principe, qu'un rapport déterminé doit exister entre l'action chimique qui développe le courant (action électro-générante), et la résistance chimique que le courant peut vaincre, que Faraday a donné une certaine série dans laquelle plusieurs combinaisons sont disposées dans l'ordre de la facilité plus ou moins grande qu'elles ont à se laisser décomposer par le courant. J'ai montré dans mes Mémoires précédents, et Mr. Buff vient de le confirmer de nouveau, que les différences dans l'action chimique électro-générante, se réduisent à faire varier la quantité d'électricité qui dans un temps donné passe à travers une certaine combinaison, et qui est réduite en courant. Pour le but que je me suis proposé, il fallait opérer dans les cas les plus simples, afin de bien déterminer d'avance les rapports des affinités chimiques des combinaisons qu'on soumet à la dé-

composition. Mr. Becquerel a attaqué directement ce même point, en se fondant sur un principe très-ingénieux. L'illustre physicien français fait passer le même courant dans le même temps à travers l'eau acidulée du voltaïmètre, et à travers un liquide qui est composé de deux sels métalliques en dissolution et mêlés ensemble. Les deux sels n'étant pas également décomposables, les produits qu'on obtient par le passage du courant, appartiennent aux deux sels en proportions différentes. C'est ainsi que dans un mélange de nitrate d'argent et de cuivre, on obtient presque de l'argent seul au pôle négatif. Mr. Becquerel augmente la proportion du sel moins décomposable, qui est dissoute dans le mélange, et il tient note du rapport dans lequel sont les quantités atomiques des deux sels dissous et mêlés, lorsque l'on parvient à obtenir au pôle négatif les deux métaux (argent et cuivre) dans des quantités proportionnelles à leurs équivalents chimiques. C'est justement à ce terme, c'est-à-dire quand le dépôt vers l'électrode négatif renferme une partie atomique de cuivre et une partie atomique d'argent, qu'on doit admettre que le courant se partage en deux parties égales, qui agissent comme séparément sur ces deux sels, et que par conséquent c'est une égale affinité chimique qui réunit alors les éléments des deux combinaisons qui sont décomposées. Les expériences de Mr. Becquerel établissent évidemment l'influence exercée par la masse sur l'affinité chimique; et comme les deux sels sont ajoutés dans des quantités proportionnelles aux équivalents chimiques, on connaît dans quel rapport se trouvent ces quantités atomiques, lorsque les affinités sont rendues égales. Becquerel a trouvé qu'il fallait une partie atomique de nitrate d'argent, et 67 part. atom. de nitrate de cuivre hydraté, pour obtenir un équivalent de cuivre et un d'argent à l'électrode négatif. Il a beaucoup varié ses expériences, et ses résultats sont pleins d'intérêt. Il est pourtant bien juste de faire observer que le principe de Becquerel ne peut s'appliquer que dans un très-petit nombre de cas, c'est-à-dire

à des combinaisons qui sont dissoutes dans l'eau, et qui ne se décomposent pas lorsqu'elles se trouvent mêlées ensemble. L'affinité de l'eau pour ces combinaisons, l'affinité qui peut exister entre elles, sont encore des éléments qui peuvent varier indépendamment de l'affinité des deux éléments (oxigène et métal) qu'on veut vaincre par ce courant. Il fallait aussi s'assurer d'avance que l'action chimique du courant sur deux combinaisons mêlées ensemble, ne varie pas avec l'intensité du courant, c'est-à-dire avec la quantité d'électricité qui, dans un temps donné, circule à travers le mélange. En effet, j'ai trouvé dans mon premier Mémoire (*Bibl. Univ.* mars 1839, p. 166), lorsque j'ai démontré le principe sur lequel est fondée l'application que Mr. Becquerel vient de faire, que deux combinaisons mêlées ensemble ne se décomposaient pas dans le même rapport par l'effet de courants d'une intensité différente. Le travail de Mr. Becquerel est toujours important en ce qu'il a démontré l'influence des masses sur les affinités chimiques, et le rapport dans lequel cette influence s'exerce dans un certain nombre de cas.

Un autre fait qui détermine la liaison qui existe entre l'affinité chimique et la force électrique nécessaire pour la vaincre, est celui qu'a découvert Faraday et que j'ai étudié dans mes Mémoires précédents. Faraday a fait voir que, en général, les composés d'un équivalent avec un équivalent, lorsqu'ils sont parcourus à l'état de fusion par un courant électrique, sont décomposés, et obéissent à la loi de l'action chimique définie du courant. Lorsque les composés contiennent un plus grand nombre d'équivalents, ils ne sont plus également décomposés. C'est ainsi que j'ai démontré que la combinaison d'un équivalent avec deux équivalents, éprouve la moitié de l'action électro-chimique qui est exercée sur une combinaison d'un équivalent avec un équivalent. Lorsque la combinaison est d'un équivalent avec trois, la décomposition électrique est réduite à un sixième de ce qu'elle serait pour une combinaison

d'un équivalent avec un équivalent. J'ai confirmé dernièrement ce résultat contenu dans mes Mémoires antérieurs. En faisant passer le courant par l'eau du voltaïmètre et par le chlorure d'antimoine fondu, on obtient pour l'antimoine un nombre égal au $\frac{1}{6}$ de celui qui est adopté par les chimistes. L'antimoine se sépare pur en petites aiguilles. Le bi-chlorure d'étain qui est composé d'un atome d'étain et de 4 atomes de chlore, ne donne point du tout passage au courant. J'ai opéré dernièrement avec une pile de 400 éléments, et j'avais un galvanomètre très-sensible dans le circuit : ce corps est absolument incapable de transmettre le courant électrique. C'est un fait très-remarquable, si on se rappelle que le proto-chlorure d'étain conduit le courant et se laisse décomposer. La différence est donc due au nombre relatif des atomes qui forment la combinaison. J'ai plongé dans le bi-chlorure d'étain une lame de platine et une de fer, liées aux extrémités d'un galvanomètre très-sensible; j'ai même chauffé le bi-chlorure, et toutefois je n'ai obtenu aucun signe de courant; j'ai employé une lame de cuivre ou d'étain, ou un morceau de potassium au lieu de la lame de fer, et les résultats ont été les mêmes. Ce n'est qu'avec un couple zinc et platine que j'ai obtenu de véritables signes du courant; ils étaient plus forts lorsque le bichlorure était chauffé. La lame de zinc était la lame positive, et on a trouvé en effet qu'elle était sensiblement attaquée par le liquide. Ce fait, qui est encore une nouvelle preuve de l'origine chimique du courant voltaïque, sert également à établir davantage la liaison qui a lieu entre la décomposition électro-chimique ou l'électrolysation de Faraday et le pouvoir de conduire le courant.

Il existe donc des composés faits d'un équivalent d'un corps avec l'équivalent d'un autre corps qui conduisent le courant, lorsqu'ils sont liquéfiés par la chaleur; les produits de leur décomposition sont soumis à la loi générale de l'action chimique définie du courant électrique. C'est donc sur ce genre de com-

posés que j'ai dirigé mes recherches afin de déterminer le rapport qui doit exister entre le pouvoir chimique du courant et l'affinité. Quoiqu'on trouve dit dans les traités que l'action chimique du courant est d'autant plus forte que l'affinité chimique qu'il doit vaincre est plus faible, il n'est pas moins vrai que Faraday, en partant de son hypothèse pour expliquer la décomposition électro-chimique, a admis que les corps qui se laissent plus facilement décomposer par le courant, sont ceux dont les éléments sont réunis par une plus grande force chimique. Mes recherches étaient d'autant plus difficiles que le nombre des combinaisons fusibles à une température qui ne soit pas très-élevée, et composées d'un équivalent avec un équivalent, est très-limité. On voit aussi que je ne pouvais pas mêler ensemble ces composés, vu qu'ils sont à l'état de fusion, et que je devais par conséquent abandonner le procédé que j'avais déjà employé dans certains cas, et sur lequel sont fondées les découvertes de Becquerel. Au lieu donc de faire partager le courant, je dirai presque par lui-même, en le faisant passer à travers le mélange de deux corps dont on veut comparer le pouvoir conducteur dans son rapport avec leur degré d'affinité, j'ai dû partager le courant en deux courants partiels. — La disposition de mon appareil est très-simple. Le courant de la pile passe à travers de l'eau acidulée à 22° B., contenue dans le voltaïmètre A, et ensuite par deux arcs semblables de platine, il se divise entre les deux voltaïmètres *a* et *a'* et de nouveau se réunit après ce passage. Les deux voltaïmètres *a* et *a'* contiennent les composés qu'on veut soumettre au passage du courant pour en étudier le pouvoir conducteur : le voltaïmètre A détermine dans tous les cas la quantité totale d'électricité qui passe par l'appareil. Je crois inutile de rapporter ici toutes les expériences que j'ai faites pour m'assurer que dans tous ces cas la somme des produits obtenus en *a* et *a'* est toujours équivalente à la quantité d'eau décomposée dans le voltaïmètre A. J'ai vérifié ce principe dans toute sa généralité, en

me servant de combinaisons très-différentes dans les deux voltaïmètres a et a'. Il faut employer de l'eau acidulée à la même densité : sans cela, comme l'avait déjà observé Faraday, on obtient de petites différences qui sont dues à la différence de solubilité des deux gaz dans les solutions qui ne sont pas également chargées d'acide sulfurique. De même, en employant l'acétate de plomb à l'état de fusion ignée, il ne faut pas prolonger trop l'expérience; la quantité de plomb que le courant sépare se trouve d'autant plus faible, relativement à celle qui s'obtient au commencement de l'expérience, que l'expérience est plus prolongée. Ce fait, que j'avais déjà découvert dans mes premières recherches et qui est décrit dans mes Mémoires, doit rentrer dans ceux que nous avons exposés à propos de l'influence du nombre des équivalents qui entrent dans une combinaison. L'acétate de plomb que l'on continue à chauffer après l'avoir fondu, perd une partie de son acide, et passe à l'état d'acétate tri-basique. J'ai encore recherché si, en faisant varier l'intensité du courant qui est mesurée par le nombre de centimètres cubes des éléments gazeux de l'eau, développés dans un temps donné, on fait changer le rapport d'électrolysation des deux liquides qui n'ont pas le même pouvoir conducteur et qui sont contenus dans les deux voltaïmètres partiels. J'ai employé d'abord le même liquide dans tous les voltaïmètres, en faisant varier seulement la quantité d'acide sulfurique ajoutée à l'eau. Lorsqu'on emploie des solutions qui sont très-loin d'être au *maximum* de conductibilité, on trouve qu'en variant l'intensité du courant, on fait aussi varier le rapport de conductibilité des deux liquides. Si on a, dans les deux voltaïmètres a et a' deux solutions d'eau et d'acide sulfurique dont l'une soit plus conductrice que l'autre, et qu'on augmente l'intensité du courant, on trouve qu'une plus grande portion du courant passe par le voltaïmètre qui contient l'eau plus acidulée. Les tableaux suivants présentent, à l'appui de cette proposition, les résultats d'un certain nombre d'expériences.

		Densité de l'eau acidulée.	Mélange gazeux obtenu.	Temps employé pour obtenir 10 c. c. de mélange gazeux.
Voltaïmètre principal.	A	15° B.	10 c. c.	
Voltaïmètres secondaires.	*a*	*id.*	5	30″
	a′	*id.*	5	
	A	15° B.	10 c. c.	
	a	*id.*	6	256″
	a′	10°	4	
	A	15° B.	10 c. c.	
	a	*id.*	6,25	74″
	a′	10°	3,75	
	A	15° B.	10 c. c.	
	a	*id.*	6,40	30″
	a′	10°	3,60	
	A	15° B.	10 c. c.	
	a	*id.*	6,50	22″
	a′	10°	3,50	
	A	15° B.	10 c. c.	
	a	*id.*	8	190″
	a′	2°	2	
	A	15° B.	10 c. c.	
	a	*id.*	7,30	440″
	a′	2°	2,70	

Lorsqu'on emploie des liquides qui sont au maximum de conductibilité, les différences produites par l'intensité variable du courant disparaissent. C'est ainsi qu'avec de l'eau acidulée depuis 22° B. à 30° B. ou avec des sels à l'état de fusion ignée, on obtient toujours les mêmes produits, quelle que soit l'intensité du courant qu'on emploie. Pour une quantité donnée d'eau qui est décomposée dans le voltaïmètre principal, les quantités des produits électrolytiques qu'on obtient dans les deux voltaïmètres secondaires, sont constantes lorsqu'il s'agit des corps au *maximum* de conductibilité.

§ I. *Du rapport entre l'électrolysation de certaines combinaisons, et l'affinité chimique des éléments dont elles sont formées.*

J'ai commencé en prenant de l'eau acidulée à 1,232 pour liquide de comparaison. J'ai mis ce liquide dans le voltaïmètre A, et dans l'un des voltaïmètres secondaires (*a* par exemple). Dans l'autre voltaïmètre *a'*, j'ai mis le corps dont je voulais étudier le pouvoir conducteur comparativement avec celui de l'eau. Il est clair que, pour les composés que j'ai soumis à mes expériences, le pouvoir conducteur est lié essentiellement à l'électrolysation, c'est-à-dire à la faculté de se laisser plus ou moins facilement décomposer par le courant électrique. Tout le soin que j'ai dû avoir dans ces expériences se réduit à ne faire passer le courant que lorsque les combinaisons sont à l'état de fusion complète, à tenir autant que possible les extrémités ou pôles de platine à la même distance dans tous les voltaïmètres, et à agiter de temps en temps le liquide, au cas qu'on puisse craindre que le produit métallique qui s'obtient au pôle négatif ne vienne en contact avec l'autre pôle. Dans chaque expérience je me suis toujours contenté de recueillir 12 c. c. de mélange gazeux dans le voltaïmètre A principal, en employant deux cloches séparées pour l'hydrogène et pour l'oxigène. Sans recueillir et peser toutes les fois la quantité de métal qui est séparée dans le voltaïmètre *a'*, je me contente de mesurer la quantité d'eau qui est décomposée dans le voltaïmètre *a*. Il est clair que la quantité de la combinaison qui est décomposée en *a'*, est équivalente chimiquement à la quantité d'eau qui forme la différence entre l'eau décomposée dans le voltaïmètre A et l'eau décomposée en *a*. Le courant généralement employé me donnait 6 c. c. de mélange gazeux dans 60″. Voici les résultats les plus remarquables : — L'eau acidulée du voltaïmètre *a* n'est point du tout décomposée, lorsque le courant peut se

partager entre elle et le protoxide de plomb, le chlorure d'argent, l'iodure de plomb : tout le courant passe par ces composés lorsqu'ils sont fondus, plutôt que par l'eau qui est acidulée et au maximum de conductibilité. Avec le chlorure de plomb, j'ai pour 12 c. c. de mélange gazeux 1,5 c. c. de ce mélange dans l'eau du voltaïmètre *a*. Avec le nitrate d'argent, le courant a été entièrement transmis, comme avec les trois composés nommés précédemment. En employant l'acétate de plomb à l'état de fusion ignée, j'ai, pour 12 c. c. de mélange gazeux, 8 c. c. du même mélange dans le voltaïmètre *a*, et 18 mg. de plomb dans ce sel fondu au pôle négatif. On peut déduire de ces résultats que l'eau la plus acidulée avec l'acide sulfurique, et portée ainsi au maximum du pouvoir conducteur que ce liquide peut acquérir, est inférieure dans ce pouvoir aux composés binaires de premier ordre que j'ai soumis à l'expérience.

Au lieu d'eau acidulée dans le voltaïmètre *a*, j'ai employé de l'acétate de plomb à l'état de fusion ignée, et je l'ai comparé à l'oxide de plomb qui était mis dans le voltaïmètre *a'*. J'ai trouvé, pour 12 c. c de mélange gazeux du voltaïmètre A, 9 à 10 mg. de plomb dans l'acétate de plomb, et 60 mg. dans l'oxide de plomb. Ce résultat prouve évidemment que l'oxide de plomb à l'état salin est moins électrolysable que le même oxide libre. — En comparant l'acétate de plomb et le nitrate d'argent, j'ai obtenu, pour 12 c. c. de mélange gazeux, 4 mg. de plomb, et 70 mg. d'argent, ce qui prouve combien l'oxide d'argent est plus électrolysable que l'oxide de plomb. Ces résultats sont tous d'accord avec les propriétés chimiques de ses composés : ils se laissent d'autant plus facilement décomposer par le courant électrique, que l'affinité chimique qui réunit les éléments dont ils sont formés est moins forte. — J'ai cru important de varier mes expériences afin de confirmer ce principe, qu'on s'était empressé d'adopter sans des preuves suffisantes. J'ai comparé le chlorure de plomb et celui d'argent à l'eau acidu-

lée, et j'ai trouvé qu'avec le premier il y a une portion du courant qui passe par l'eau acidulée, ce qui n'arrive pas avec le chlorure d'argent. Il y a, quand c'est le chlorure de plomb, 1,5 c. c. de mélange gazeux dans l'eau acidulée du voltaïmètre *a* pour 12 c. c. de mélange gazeux du voltaïmètre A. J'ai trouvé, par ce même procédé, que le chlorure de plomb est bien moins électrolysable que l'iodure et l'oxide de plomb. J'ai comparé les chlorures de plomb et d'argent à l'acétate de plomb qui se trouvait au lieu de l'eau acidulée dans le voltaïmètre *a*. J'ai obtenu pour 12 c. c. de mélange gazeux 10 mg. de plomb dans l'acétate de plomb, lorsqu'il était placé parallèlement avec le chlorure de plomb; et quand j'ai fait cette expérience avec le chlorure d'argent, j'ai eu à peine des traces sensibles de plomb dans l'acétate. En comparant avec l'acétate de plomb, le chlorure et l'iodure de plomb, je trouve que, pour 12 c. c. de mélange gazeux du voltaïmètre A, on a 10 mg. de plomb dans l'acétate, et le reste dans le chlorure. L'iodure m'a donné un résultat qui n'en diffère pas beaucoup; on a toujours une quantité un peu moindre de plomb dans l'acétate, lorsqu'on emploie l'iodure au lieu du chlorure de plomb. J'ai comparé le proto-chlorure d'étain avec l'acétate de plomb, et, pour 12 c. c. de mélange gazeux, j'ai obtenu 64 mg. de plomb dans l'acétate, et à peine 3 mg. d'étain dans le proto-chlorure. On voit par là que le proto-chlorure d'étain est un liquide bien difficilement électrolysable, et on sait bien en chimie combien est grande l'affinité du chlore pour l'étain. Ce fait nous conduit à expliquer l'absence de pouvoir conducteur dans le bichlorure d'étain, et la faiblesse du même pouvoir dans le chlorure d'antimoine. Outre la grande affinité qui réunit les éléments de ces corps, leur composition en équivalents, que nous savons n'être pas d'un équivalent avec un équivalent, est une circonstance qui exerce une grande influence sur le phénomène dont il s'agit.

Je rapporterai encore les résultats obtenus en comparant

avec le nitrate d'argent l'iodure et l'acétate de plomb. J'ai obtenu, pour 12 c. c. de mélange gazeux, 30 mg. d'argent dans le nitrate, c'est-à-dire que presque la moitié du courant a passé par l'iodure; avec l'acétate de plomb, il y a 70 mg. d'argent, et 4 mg. de plomb dans l'acétate; l'iodure de plomb est donc bien plus électrolysable que l'acétate de plomb. Tous ces résultats, qu'il m'a été impossible d'étendre à un plus grand nombre de composés, établissent d'une manière incontestable que le pouvoir électrolysant, ou la propriété qu'a le courant de décomposer les combinaisons, varie avec le degré d'affinité qui réunit les éléments de ces combinaisons: ce qui conduit aussi à admettre que, pour les combinaisons que j'ai étudiées, le pouvoir conducteur est essentiellement lié à leur degré d'électrolysation.

§ II. *De l'électrolysation de l'eau et des corps qui y sont dissous.*

C'est un fait établi depuis les premières recherches d'électrochimie, que les sels et les acides ajoutés à l'eau rendent ce liquide plus électrolysable. Cette influence se manifeste de différentes manières. C'est ainsi que nous savons maintenant que les acides sulfurique, phosphorique, etc., augmentent l'électrolysation de l'eau sans être eux-mêmes décomposés, et Faraday a bien démontré que si, dans quelques cas, on a du soufre ou du phosphore au pôle négatif, ce sont là des produits secondaires. Les acides hydrochlorique, hydriodique, etc., lorsqu'ils sont combinés avec l'eau, sont directement décomposés par le courant, et dans ce cas l'augmentation de l'électrolysation qu'on trouve dans l'eau, lorsque ces acides y ont été placés, n'est plus due à l'eau, mais aux acides eux-mêmes. J'ai même montré, dans mes mémoires précédents, que dans quelques cas l'eau et ces acides mélangés sont décomposés dans le

même temps, et que cette double décomposition se faisait toujours suivant la loi de l'action chimique définie du courant. Lorsqu'une combinaison saline ou binaire du second ordre est placée et dissoute dans l'eau, j'ai démontré que dans tous les cas c'est la seule combinaison saline qui est décomposée directement. Mes expériences et celles de Mr. Daniell, qui sont parfaitement d'accord, établissent que cette décomposition des sels dissous dans l'eau, est encore sujette à la loi de l'action chimique définie du courant.—La première question qui se présente à résoudre maintenant, est celle de la propriété que les acides sulfurique, phosphorique, etc., ont d'augmenter l'électrolysation de l'eau. Ces acides ne sont pas décomposés directement par le courant, et ils ne peuvent non plus favoriser la décomposition de l'eau par leur action chimique, comme le fait l'acide nitrique. Quelle est donc la manière d'agir de ces acides? Les belles recherches de Graham ont mis hors de doute que l'eau remplace exactement les oxides, équivalent par équivalent, et qu'elle peut, par conséquent, se combiner aux acides en formant de véritables combinaisons salines. Si donc, dans un mélange d'eau et d'acide sulfurique, on a une combinaison d'acide et d'eau, dissoute dans l'eau, on doit s'attendre à obtenir par le passage du courant les mêmes produits qu'on a dans une solution saline, c'est-à-dire que l'eau doit passer avec l'hydrogène au pôle négatif, tandis que l'oxigène et l'acide se porteront au pôle positif. Ces conséquences ont été parfaitement confirmées par les expériences de Mr. Daniell. On n'a qu'à séparer un récipient quelconque en deux, avec un diaphragme, à verser dans les deux cavités ainsi formées de l'eau acidulée, et à faire passer le courant : on trouve ainsi, que dans le liquide dans lequel est plongé le pôle négatif, une partie de l'acide sulfurique a disparu pour se rendre dans le liquide du pôle positif. On peut démontrer ce résultat en prenant la densité des deux liquides avant et après l'expérience, ou bien en déterminant par l'analyse la quantité d'acide sulfurique qui est contenue

dans une quantité donnée de deux solutions. Mr. Daniell a tâché de déterminer quelle était en équivalents la quantité d'acide sulfurique séparée par le courant dans de l'eau acidulée, en comparaison de la quantité d'eau ou d'un autre électrolyte décomposée par le même courant. D'après les expériences de Mr. Daniell, quelle que soit la densité de l'eau acidulée, pour un équivalent d'un électrolyte quelconque décomposé il y aurait $\frac{1}{4}$ d'équivalent d'acide sulfurique transporté au pôle positif. J'ai repris ces expériences en faisant varier la densité des solutions acides depuis 1,023 à 1,076. Mes résultats ne sont pas d'accord avec ceux de Mr. Daniell : j'ai obtenu pour un équivalent d'un électrolyte quelconque la moitié d'un équivalent d'acide sulfurique. C'est en augmentant beaucoup la densité des solutions acides que j'ai obtenu des rapports très-variables, mais qui étaient pourtant d'accord pour établir que la quantité de la combinaison de l'eau et de l'acide qui est électrolysée diminue avec la proportion de l'acide qui se trouve dans l'eau. Un tel résultat m'a paru même très-concluant en faveur de ma manière d'opérer. Je prends pour cela un tube de verre ouvert que je ferme à une extrémité avec un double diaphragme de membrane ; je verse dans l'intérieur du tube de l'eau acidulée, et je plonge le tube dans de l'eau acidulée semblable. Je tâche que l'expérience dure le moins de temps possible, en employant le courant d'une grande intensité. Quand elle est finie, je détermine par l'analyse la quantité absolue d'acide sulfurique qui est contenue dans une quantité donnée du liquide du pôle positif ; puis je compare cette quantité à celle qui était contenue dans le même liquide avant le commencement de l'expérience. — J'avoue que de nouvelles expériences sont encore nécessaires pour éclaircir ce sujet : ce qui résulte pourtant de mes recherches et de celles de Mr. Daniell, c'est que, dans le passage du courant par l'eau acidulée, c'est bien une combinaison d'eau et d'acide qui est décomposée dans un rapport déterminé. Peut-être, par cette combinaison, l'affinité des éléments de l'eau est-elle très-affaiblie, ce qui me semble d'accord avec

les théories chimiques; peut-être aussi que les éléments de l'eau et de l'acide entrent dans une nouvelle combinaison qui est plus électrolysable.

Pour étudier encore mieux le rôle des acides qui sont dissous dans l'eau, j'ai comparé entre elles deux solutions, l'une d'acide phosphorique, l'autre d'acide sulfurique. J'ai employé pour cela l'appareil déjà décrit, en versant les deux solutions dans les deux voltaïmètres partiels *a* et *a'*. L'expérience se réduisait à comparer entre eux les produits gazeux donnés par les deux solutions pour une quantité d'eau décomposée dans le voltaïmètre principal. J'ai comparé d'abord les deux solutions sulfurique et phosphorique en les prenant à la même densité. J'ai trouvé que le courant ne se partageait pas également entre elles, et que la solution sulfurique était encore bien plus électrolysable que l'autre. Pour une quantité de mélange gazeux, obtenue dans le voltaïmètre principal, j'avais, dans les deux voltaïmètres *a* et *a'*, des quantités du même mélange qui étaient dans le rapport de 15 à 1. J'ai continué à ajouter de l'acide phosphorique à la solution, jusqu'au point d'y obtenir la même quantité du mélange gazeux que j'avais dans la solution sulfurique. En comparant alors les quantités des deux acides ajoutées à une quantité d'eau, j'ai trouvé que ces quantités étaient dans un rapport qui ne diffère pas beaucoup de celui des nombres équivalents des deux acides. Ce résultat, tout en méritant une étude plus approfondie, nous conduit toutefois à regarder l'influence des acides dans l'électrolysation de l'eau dans laquelle ils sont dissous, comme liée à l'état de combinaison dans lequel ces acides entrent avec l'eau.

J'ai encore à étudier l'action des sels dissous dans l'eau. C'est un fait découvert depuis longtemps, qu'en augmentant la proportion d'un sel qui est dissous dans l'eau, on rend cette solution plus conductrice, et que les produits de la décomposition électro-chimique deviennent plus abondants. Becquerel est parvenu, en se fondant sur le principe que j'ai déjà décrit, à établir dans quel rapport atomique doivent être dissous deux

sels, pour devenir également électrolysables. Il déduit de ces résultats, que, en augmentant la quantité du sel moins électrolysable, on rend ainsi moins forte l'affinité entre ses éléments. Nous savons qu'un sel dissous dans l'eau est décomposé directement par le courant, et que l'action du courant ne porte plus, par conséquent, que sur la combinaison saline. Il est donc naturel de considérer le sel dissous dans l'eau, comme si ce même sel était à l'état de fusion ; sa moindre électrolysation peut s'expliquer par sa moindre densité, ou par la plus grande distance à laquelle se trouvent ses molécules et par l'action chimique de l'eau. Je ne puis décrire qu'une seule expérience, qui vient à l'appui de cette manière de considérer l'électrolysation des solutions salines. On est arrêté, dans ces recherches, par le nombre très-limité des corps qui peuvent être soumis à des expériences convenables. J'ai préparé deux solutions de nitrate d'argent, une dans l'alcool à 34° B., et l'autre dans l'eau. Il a fallu chauffer ces deux solutions jusqu'à 30° C. C'est ainsi que j'ai pu dissoudre dans 21^{gr} d'alcool $3^{gr},390$ de nitrate d'argent. L'autre solution aqueuse contenait $0^{gr},335$ de nitrate sous le même volume, et je ne l'ai chauffée que pour avoir des circonstances identiques. J'ai versé ces deux solutions dans les voltaïmètres a et a'. Ces deux solutions du même sel, dans deux liquides différents, avaient sensiblement la même densité, et étaient aussi également électrolysables. Pour 18^{cc} de mélange gazeux du voltaïmètre A, j'ai eu 57^{mg} d'argent dans la solution alcoolique, et 56^{mg} dans la solution aqueuse. La somme de ces deux nombres, qui sont presque égaux, correspond exactement à la quantité d'eau décomposée dans le voltaïmètre. — J'ai tenté cette même expérience sur l'acétate de plomb, et j'ai trouvé que, quoiqu'on rende également dense la solution alcoolique et la solution aqueuse, la première reste cependant moins électrolysable. Il faudrait varier beaucoup ces expériences, et l'on parviendrait certainement à expliquer quelle est la véritable influence du liquide sur le corps qui s'y trouve dissous.

J'étais curieux de voir si, en opérant avec le procédé que

j'ai décrit, et en tenant les deux sels séparés, on parviendrait aux mêmes résultats que Mr. Becquerel, relativement aux quantités de ces sels qui sont nécessaires pour qu'ils deviennent électrolysables. J'ai commencé par deux sels qui ont le même oxide et un acide différent : c'étaient le sulfate et le nitrate de cuivre ; j'ai ajouté à 10^{gr} d'eau des quantités différentes de ces deux sels, en commençant par 5^{gr} de nitrate. J'ai trouvé que le courant se partageait exactement entre les deux solutions quand, pour 1 atome de nitrate, il y avait 3 atomes de sulfate. C'est avec 10 atomes d'acétate de plomb et 1 atome de nitrate de plomb ajoutés à 100^{gr} d'eau, que j'ai obtenu deux liquides également électrolysables. — Un atome de nitrate d'argent, et 4 atomes de nitrate de plomb ajoutés à 100^{gr} d'eau, donnent deux liquides qui se laissent également décomposer. J'ai, pour 12^{cc} de mélange gazeux dans le voltaïmètre principal A, 40^{mg} de plomb et 38^{mg} d'argent. Il faut 1 atome de nitrate d'argent, et 20 atomes d'acétate de plomb pour avoir deux liquides également électrolysables. Il faut $2\frac{1}{2}$ atomes de nitrate de cuivre, et 1 atome de nitrate d'argent pour faire deux liquides également décomposables. — Je prépare ces solutions avec 1^{gr} de nitrate d'argent que j'ajoute à 100^{gr} d'eau, et avec des quantités atomiques proportionnelles au nombre que j'ai donné de l'autre sel. Ce qui résulte de ces expériences, c'est que les quantités de ces sels qui doivent être ajoutées à l'eau pour faire des solutions également électrolysables, sont d'autant plus grandes que les sels sont, à l'état de fusion, plus difficilement électrolysables. On voit également que les quantités des différents sels, qui donnent à une même quantité d'eau un égal pouvoir conducteur, ne sont pas dans le même rapport que celui qui a été trouvé par le procédé de Mr. Becquerel. Il paraît que l'action réciproque des deux sels mêlés ensemble rend plus grande l'affinité des éléments des composés. C'est encore un sujet sur lequel je me propose de poursuivre des recherches.

Au Cabinet de Physique. Pise, 21 *juillet* 1841.

NOTE SUR UN PHÉNOMÈNE PRÉSENTÉ PAR LA SOLUTION DE NITRATE D'ARGENT DÉCOMPOSÉE PAR LE COURANT, par Mr. Ch. Matteucci.

Dans mon 4me Mémoire (décembre 1839) j'ai décrit le fait suivant. Si on fait passer le courant électrique par une dissolution de nitrate d'argent, on voit se former au pôle négatif un dépôt floconneux noir qui s'attache au fil de platine, et qui devient de la couleur d'argent toutes les fois que le courant cesse de passer ou bien que ce dépôt se détache du fil et tombe dans le liquide. Ce passage de la couleur noire à l'autre est instantané.

La formation du dépôt noir et la production du phénomène n'ont lieu que dans certaines conditions. Si la solution est très-chargée de nitrate d'argent, l'argent se sépare toujours très-bien cristallisé. C'est en diluant cette solution qu'on arrive à l'obtenir. Si on prépare une solution de 100gr d'eau et de 1gr de nitrate d'argent, on obtient immédiatement le phénomène. J'avais un courant de six piles, qui donnait 1 c. c. d'hydrogène dans 34″. Si on dilue encore la solution, il cesse de se produire ; il faut, pour le produire, un courant d'autant plus fort que la solution est moins chargée de sel. Soit que l'argent se sépare à l'état floconneux ou à l'état cristallisé, la quantité ne varie pas sensiblement, et elle est sensiblement égale à celle que donne le calcul, en partant de la quantité d'eau qui est décomposée dans le voltaïmètre par le même courant qui décompose le nitrate. Lorsqu'un morceau de ce dépôt, redevenu blanc, est placé dans la solution de nitrate d'argent entre les deux pôles, on le voit noircir dans celles de ses parties qui sont près du pôle positif. Si ce dépôt est transporté dans un autre liquide où l'on fasse passer le courant, pourvu que ce liquide

ne contienne pas de nitrate d'argent, le dépôt reste blanc malgré le passage du courant. Une seule goutte de nitrate d'argent fait apparaître le phénomène.

Le dépôt, noir tant que le courant passe, devient blanc si on agite le fil et le dépôt dans le liquide; et si l'on fait tomber sur lui un filet du même liquide, il repasse de nouveau à la couleur noire. Si on transporte le fil recouvert du dépôt floconneux noir, dans une solution de nitrate d'argent très-chargée de sel et qui donne par conséquent l'argent à l'état métallique, on voit le dépôt se couvrir d'argent cristallisé, et le phénomène n'a pas lieu. Quelle que soit la distance, de 3 à 4 millim. jusqu'à $0^{m},2$, à laquelle on tient les deux fils de la pile dans la solution, le phénomène se produit également. Si on interpose une lame de verre entre les deux fils, le dépôt reste blanc, et il devient noir si la lame est enlevée. Je crois que ce fait doit être attribué à la différence d'intensité qu'a le courant avec ou sans la lame interposée. Puisque le phénomène a lieu à des distances si grandes, on ne peut pas attribuer l'absence du phénomène, lorsque la lame de verre est interposée, à l'action qu'exerceraient les produits de deux pôles et qui n'aurait pas lieu dans ce cas. L'acétate d'argent, dissous dans une grande quantité d'eau, donne les mêmes phénomènes que les nitrates, et ils se produisent également après avoir ajouté à la solution de l'acide nitrique et sulfurique en excès. J'avoue que je n'ai point pu jusqu'ici me rendre exactement compte du phénomène. Les solutions salines de cuivre et de plomb très-étendues donnent, au lieu du plomb et du cuivre métalliques, un dépôt noir qu'on trouve composé du métal pur. On pourrait soupçonner que le dépôt noir est formé d'oxide d'argent qui est conservé par le passage du courant, et qui, une fois que le courant cesse, passe immédiatement à l'état métallique. — Ce n'est là qu'une hypothèse toute gratuite, et qui a besoin de l'appui de l'expérience.

Pise, 21 *juillet* 1841.

DE L'ORIGINE DU POUVOIR DE LA PILE VOLTAÏQUE, par Mr. FARADAY.

(Seconde partie.)

(Voyez la premiere partie page 93 du n° 1 des *Archives de l'Electricité*.)

§ IV. *De l'influence de la température sur la puissance électrique de l'action chimique.*

Si la force chimique est véritablement la source du courant, il est important que nous puissions, par des moyens chimiques ordinaires, faire varier cette force entre certaines limites, sans altérer en rien les contacts métalliques ni les autres conditions du circuit. De semblables variations doivent produire des effets voltaïques correspondants, et il ne paraît pas improbable que ces différences seules suffisent pour produire des courants sans l'aide d'aucun contact métallique.

De la Rive a montré que l'accroissement d'action d'un couple métallique plongé dans un fluide qui est chaud au lieu d'être froid, est dû en grande partie à l'exaltation de l'affinité chimique du métal sur lequel on agit. C'est en ayant un point de vue analogue, que j'ai voulu opérer en n'employant qu'un seul métal et un seul fluide, de manière que le fluide fût semblable aux deux points de contact, mais en ayant soin d'augmenter la force chimique à l'un des points de contact par l'application de la chaleur. Si une semblable différence développe un courant dans des circuits qui ne peuvent par eux-mêmes produire un courant thermo-électrique, ni conduire celui d'un élément antimoine-bismuth, il devient probable que

l'effet est dû entièrement à la force chimique, et que le contact n'y est pour rien.

L'appareil dont je me suis servi était un tube de verre de 5 pouces de long sur 3 lignes de diamètre intérieur, ouvert à ses deux extrémités, recourbé en deux branches, et placé sur un support. Le liquide fut placé dans ce tube, disposition qui permettait de chauffer la portion qui se trouvait à l'extrémité supérieure de l'une des branches, tandis que le liquide placé dans l'autre branche demeurait complétement froid. Dans ces expériences je nommerai A le côté gauche, et B le côté droit; C et D seront les fils métalliques qui doivent être comparés. Le circuit renfermait le galvanomètre, et quelquefois un élément thermo-électrique antimoine et bismuth de Seebeck. On sent que ces métaux ne pouvaient produire aucun effet perturbateur, tant que la température de leurs points de contact demeurait la même. Je préparai soigneusement les fils métalliques; ceux d'un même métal consistaient en fragments coupés successivement au même fil.

Il est à peine possible d'obtenir deux fils, lors même qu'ils sont du même métal et que ce métal est du platine, assez parfaitement semblables pour qu'ils ne produisent aucun courant. Il devient donc nécessaire de répéter l'expérience plusieurs fois en changeant les fils de place, jusqu'à ce qu'on ait obtenu un résultat évident et indépendant de cette cause perturbatrice.

Effet du fluide ou de la substance environnante. La solution liquide qui résulte de l'action du liquide sur le métal exerce, comme on le sait, une influence importante sur la production d'un courant. Ainsi, ayant plongé deux fils de cadmium dans de l'acide sulfurique étendu, chaud d'un côté et froid de l'autre, je trouvai que le cadmium chaud était d'abord positif et produisait une déviation d'environ 10°; mais au bout de peu de temps cet effet cessa, et un courant dans une direction inverse se manifesta, le cadmium chaud étant de-

venu négatif. J'attribue ce phénomène à ce que la petite couche d'acide exerce une action qui est plus vite épuisée lorsqu'elle agit sur la surface métallique chauffée, et à ce que finalement il y a une supériorité d'action du côté le plus froid. Marianini a décrit les différents effets qu'on obtient en plongeant des métaux de même nature dans un liquide, et il a trouvé que le métal qu'on plonge le premier est en général négatif par rapport à celui qu'on plonge le second.

Effet du mouvement. L'influence du fluide environnant oblige à se prémunir contre l'effet du repos et du mouvement successifs du métal dans ce fluide. Par exemple, si l'on place deux fils d'étain dans de l'acide nitrique étendu, il y aura probablement un léger mouvement dans le galvanomètre, et l'aiguille se fixera finalement à 0°. Si l'un des fils est agité tandis que l'autre demeure en repos, celui qui est en mouvement devient positif. L'étain et le cadmium plongés dans l'acide sulfurique étendu, produisent un courant intense, le cadmium étant positif; l'aiguille indique une déviation de 80°. Lorsque les fils sont laissés en repos, le courant s'affaiblit et n'indique plus que 35°. Si le fil de cadmium est agité, on n'observe qu'une légère perturbation; mais si c'est l'étain qu'on agite, on obtient un effet très-sensible, et encore plus remarquable en ce qu'il est en sens inverse, et qu'au lieu d'être comme précédemment une augmentation de force, le fil devient plus négatif, et le courant acquiert de nouveau l'intensité de 80°. La précaution à prendre pour éviter l'intervention de ces actions est, non-seulement d'observer le premier effet qui a lieu au moment de l'introduction des fils, mais de maintenir ceux-ci en mouvement depuis le moment de leur immersion. Le résultat que je viens de rapporter est une raison de plus pour chauffer les acides avant d'y plonger les fils; car, dans l'expérience que je viens de citer, si le côté où plongeait le cadmium était chauffé jusqu'au point de l'ébullition, au moment où le liquide du côté où plongeait l'étain était agité par le fait qu'il communiquait avec le liquide bouil-

lant du côté opposé, l'effet produit par le mouvement était plus considérable que l'effet produit par la chaleur. L'application de la chaleur du côté du cadmium n'avait pas un effet bien sensible, tandis que le rejaillissement de l'acide le long du fil d'étain déterminait dans le courant une augmentation de 20° ou 30°.

Effet de l'air. Deux fils de platine furent mis dans une forte solution froide de sulfure de potassium; le galvanomètre fut bientôt à 0°. Lorsque je chauffai le liquide d'un côté, le platine plongé dans cette branche devint négatif. Je refroidis la même branche en l'arrosant d'eau froide, et je chauffai l'autre : le platine de celle-ci devint alors négatif, et, quoique l'action fût irrégulière, le même résultat général eut lieu de quelque manière que la température de ces parties fût changée. Cela n'était point dû à l'effet chimique de l'électrolyte sur le platine froid. Je ne crois pas non plus que ce fût un véritable courant thermo-électrique, car le sens du courant aurait été contraire. Je pense que le fait observé doit être attribué à l'augmentation d'influence de l'air sur l'électrolyte qui a lieu du côté chauffé, car il est évident que l'application de la chaleur déterminant des courants soit dans le liquide, soit dans l'air, facilite leur action mutuelle. On a déjà montré qu'en soulevant le platine hors de la solution, de manière à l'exposer un instant à l'air, on le rend négatif quand il est replongé, effet qui est parfaitement d'accord avec l'action présumée de l'air et du liquide chauffé dans le cas actuel. On se met à l'abri de cette influence en élevant tranquillement la température de l'électrolyte, avant que les fils y soient plongés, et en observant seulement le premier effet qui est obtenu.

Effet de la chaleur. Dans certains cas où l'on emploie deux métaux différents, on obtient un effet très-remarquable en chauffant le métal négatif. Ce fait exigerait trop de détails pour être décrit ici au long; mais je donnerai deux exemples pour le faire mieux comprendre et pour le justifier. Lorsque deux

fils de platine sont placés de manière à former un couple, l'un dans de l'acide sulfurique étendu chaud, l'autre dans de l'acide sulfurique froid, ils donnent à peine un léger indice de courant électrique ; lorsque cet indice existe, c'est le métal chaud qui est légèrement positif. Quand on fait l'expérience avec deux fils d'argent, il n'y a pas non plus d'effet sensible. Il en est autrement lorsqu'on opère avec du platine et de l'argent. Si tous les deux sont froids, le fil d'argent est positif et le courant est d'environ 4° au galvanomètre. Mais lorsqu'on chauffe l'acide autour du platine, le courant acquiert assez d'intensité pour faire dévier l'aiguille de 30°, et l'argent reste positif. Cet effet dure tant que la chaleur subsiste; mais lorsque l'acide et le platine sont refroidis, l'aiguille revient à sa première position. Ce n'est point ainsi que les choses se passent si l'on chauffe le liquide autour du fil d'argent : il devient plus positif en étant chauffé ; mais il le devient seulement assez pour faire dévier l'aiguille de 16°. On a vu que le mouvement imprimé au platine favorisait le passage du courant, et qu'alors la déviation augmentait ; mais on voit que l'application de la chaleur produit bien plus d'effet.

En plongeant des fils d'argent et de cuivre dans l'acide sulfurique étendu, on obtenait un courant très-faible ; le cuivre était positif d'environ 1° au galvanomètre ; on n'obtenait rien de plus en agitant le cuivre ou l'argent ; mais lorsqu'on chauffait l'argent, il restait négatif et le courant était de 20°. L'argent revenait à son état primitif lorsqu'on le refroidissait. On n'obtenait aucun effet si on agitait de nouveau soit l'argent, soit le cuivre, ou si l'on chauffait ce dernier ; mais en chauffant le fil d'argent on le rendait négatif comme auparavant.

En résumé : toutes les fois que deux métaux sont positifs et négatifs l'un relativement à l'autre, dans un électrolyte comme un acide étendu (et dans d'autres peut-être), l'action de chauffer le métal négatif dans son point de contact avec l'électrolyte permet au courant, qui tend à se former, de passer avec une

facilité assez grande pour acquérir dix fois plus de force qu'il n'en aurait sans cela. Ce n'est pas l'effet du déplacement du liquide ambiant, car dans ces cas le mouvement n'exerce pas d'influence ; ce n'est pas non plus l'action chimique, car l'effet se manifeste sur l'électrode où l'action chimique n'est pas active ; ce n'est pas enfin un phénomène thermo-électrique de l'espèce ordinaire, puisqu'il dépend d'un rapport voltaïque, c'est-à-dire que le métal où l'effet se manifeste doit être négatif par rapport à l'autre métal dans l'électrolyte. Ainsi l'argent chauffé ne produit rien avec de l'argent froid, quoiqu'il produise beaucoup d'effet avec le cuivre soit chaud soit froid, et le platine chaud ne donne pas de courant avec du platine froid, mais il en produit un très-fort avec de l'argent soit froid soit chaud.

Quel que soit le mode intime d'action de la chaleur dans ces phénomènes, il n'y a pas de doute que cette action ne dépende du courant qui tend à parcourir le circuit. Il est essentiel de se rappeler que l'augmentation d'effet qui se manifeste par le galvanomètre n'est pas due à une augmentation dans la force électromotrice, mais uniquement à une plus grande facilité qu'acquiert le courant de surmonter les obstacles. Mr. de la Rive a décrit un effet du même genre, relatif à l'influence de la chaleur sur le passage du courant électrique au travers de l'acide étendu placé dans le circuit au moyen d'électrodes de platine.

L'application de la chaleur à l'électrode négatif porta la déviation du galvanomètre de 12° à 30° ou 45°, tandis que l'application de la chaleur à l'électrode positif ne produisit aucun changement[1]. Je n'ai pas pu observer jusqu'à présent que l'effet fût aussi complétement nul à l'électrode positif; mais je ne doute pas que les phénomènes que je viens de décrire ne soient du même genre que celui que Mr. de la Rive a découverts.

[1] Bibl. Univ. 1837, t. VII, p. 388.

Ces mêmes effets se présentent fréquemment dans les expériences suivantes, quand on fait un couple de deux métaux, l'un chaud, l'autre froid. Ils se manifestent d'autant plus que le métal négatif se rapproche davantage sous le rapport du caractère *inactif* du platine ou du rhodium. Ainsi, quand on associe voltaïquement du cuivre froid avec l'argent, l'or ou le platine froid dans de l'acide nitrique étendu, la chaleur appliquée au métal négatif tend à faire paraître le cuivre plus positif qu'il ne l'aurait été sans cela.

1. *Place où les fils métalliques doivent se terminer*. Il est nécessaire que ce soit l'extrémité du fil métallique du côté chauffé qui soit dans le liquide chaud. Deux fils de cuivre étaient placés dans une solution étendue de sulfure de potassium. Lorsque les deux extrémités des fils plongeaient dans la portion froide, il y avait sur le galvanomètre des mouvements irréguliers mais faibles, qui indiquaient que le fil qui traversait la partie chauffée sans que son extrémité y plongeât, était négatif. Mais en soulevant ce fil de manière que son extrémité plongeât dans le liquide chaud, il devint positif et continua de l'être. En plongeant plus bas l'extrémité du fil, de manière à atteindre la région froide, il revint à son état primitif; replacé dans la portion chaude, il devint positif de nouveau. La même chose avait lieu avec deux fils d'argent dans de l'acide nitrique étendu. Il peut paraître singulier que le courant augmente de force à mesure que le mauvais conducteur augmente d'étendue; c'est néanmoins ainsi que les choses se passent. Il n'y a aucune raison de douter que cette portion de fil métallique qui est dans le liquide chauffé ne soit dans tous les cas positive; mais à un moment donné la totalité du courant qu'elle produit passe au travers du circuit entier, et à un autre moment une portion du courant, ou la totalité, circule de l'extrémité froide à la partie chaude du même fil à travers le liquide ambiant.

Décapage des fils. On doit soigneusement décaper les fils ainsi que je l'ai déjà indiqué; mais il faut surtout apporter

l'attention la plus scrupuleuse à la propreté des extrémités, car si ces espaces circulaires qui se trouvent justement dans l'endroit le plus essentiel du circuit étaient recouverts de la substance qui y est restée à la suite de l'expérience précédente, l'expérience pendante en serait très-dérangée, et le résultat obtenu serait peut-être essentiellement fautif.

Le meilleur mode de procéder est de chauffer d'abord le liquide dans l'une des branches, et de plonger à la fois les deux fils, bien décapés et mis en communication voltaïque, en retenant l'extrémité du fil chauffé dans la portion chaude du liquide, et en agitant les deux fils tandis qu'on observe le premier effet; on retire ensuite les fils, on les essuie, on les change de côté et l'on répète l'expérience; on renouvelle cette opération jusqu'à ce qu'on soit parvenu à tirer une conclusion décisive et satisfaisante des résultats obtenus.

Il devient nécessaire ensuite de s'assurer si un véritable courant thermo-électrique peut être produit par des électrolytes et des métaux dans lesquels il y a production de courants électro-chimiques où intervient l'action de la chaleur. J'ai essayé dans ce but différentes combinaisons d'électrolytes et de métaux qui sont insensibles aux effets électro-chimiques, et j'ai obtenu les résultats suivants.

Platine et solution concentrée de potasse. Le platine chaud est positif par rapport au platine froid dans l'électrolyte, et il produit un courant qui fait dévier l'aiguille d'environ 5°; la température aux points de jonction était de $15^{\circ}\frac{1}{2}$ à l'un de ces points et de $115^{\circ}\frac{1}{2}$ à l'autre. L'or et une solution semblable ont donné le même résultat. Avec l'argent et une solution moins concentrée d'une densité égale à 1070, la même dont on a fait usage dans les expériences suivantes, l'argent chauffé fut positif, mais seulement de 1° par rapport au froid. Avec le fer et la même solution on obtint un courant constant et une déviation de 50° ou plus; mais il y avait en même temps action chimique.

Solution de sulfure de potassium. Ainsi que je l'ai déjà dit, le platine chaud y est négatif par rapport au platine froid, mais je ne crois pas que l'action soit thermo-électrique. Le palladium avec une solution plus faible n'a donné aucun indice de courant.

Le platine plongé dans une solution très-étendue, consistant en 1 volume d'acide nitrique et 50 volumes d'eau, ne fournit pas de donnée certaine. Le métal chaud paraissait quelquefois légèrement positif, et d'autres fois tout aussi faiblement négatif. L'or, plongé dans le même acide, donne à peine des résultats sensibles ; le métal chaud paraît négatif. Le palladium se comporte comme l'or.

Mon galvanomètre n'indiqua pas de courant sensible par l'action seule de la chaleur avec l'or ou le platine plongé dans l'acide sulfurique étendu qui renfermait, pour 80 parties d'eau en poids, *une* d'acide sulfurique.

Le platine, chauffé dans l'*acide muriatique*, était légèrement négatif lorsque l'acide était concentré, et ne donnait aucun courant sensible lorsque l'acide était étendu.

L'*acide nitrique concentré* parut d'abord donner des résultats prononcés. Lorsque le platine était chauffé à l'un des points de jonction dans l'acide nitrique concentré, le platine chaud était constamment négatif à travers l'électrolyte par rapport au métal froid ; la déviation était d'environ 2°. La déviation était plus forte lorsque j'employais de l'acide jaune ; et quand je faisais usage d'un acide orangé, la déviation était de 70°, le platine chaud étant toujours négatif. Cet effet n'est pas dû toutefois à un courant thermo-électrique pur, mais il est un résultat particulier dû à la présence de l'acide nitrique. Il disparaît presque entièrement quand on emploie un acide étendu ; mais il reste des signes assez prononcés pour indiquer que le métal chaud est toujours négatif relativement au froid.

La solution de potasse semble donc être celle qui donne les indices les plus évidents de courants thermo-électriques. Ce-

pendant, même alors la déviation n'est que de 5°, quoique le liquide soit un bon conducteur. Quand le liquide était étendu et de la pesanteur spécifique de 1070, l'effet n'était que de 1°, et ne pouvait, par conséquent, être confondu avec les résultats qui sont exposés plus loin.

Dans quelques cas, les acides sulfurique et nitrique étendus n'ont donné que des indices douteux de courants thermo-électriques. Celui d'un couple antimoine-bismuth, par exemple, ne passait pas au travers de ces solutions, disposées comme je l'ai indiqué dans les expériences que j'ai déjà citées, et dans d'autres; par conséquent, si le faible courant obtenu dans les expériences est d'une nature thermo-électrique, il en résulterait que la combinaison de platine et d'acide serait beaucoup plus énergique que le couple antimoine-bismuth de Seebeck, ce qui est inadmissible. Et de plus, quand il y a un courant, le métal chaud est généralement négatif par rapport au froid, et il est par conséquent impossible de confondre les résultats thermo-électriques avec ceux dans lesquels le courant a une direction contraire. Dans l'acide nitrique concentré, le métal chaud est également négatif.

Nous venons de voir que l'application de la chaleur aux métaux plongés dans des acides ou d'autres électrolytes qui peuvent agir chimiquement sur ces métaux, produit des courants considérables. On pourra dire que bien que les métaux qui sont inactifs dans les acides ne produisent point de courants thermo-électriques, toutefois ceux qui, ainsi que le cuivre et l'argent, éprouvent une action chimique, ne sont pas dans le même cas. Mais cette opinion ne serait qu'une pure hypothèse, et une hypothèse qui est en contradiction avec ce que nous savons des courants thermo-électriques; car, parmi les conducteurs solides, métalliques ou non métalliques, il n'y en a aucun qui soit susceptible de produire des courants thermo-électriques avec quelques-uns des métaux, et point avec les autres. D'ailleurs ces métaux, le cuivre, l'argent, ne produisent pas tou-

jours des effets qui puissent être confondus avec les effets thermo-électriques, car l'argent dans l'acide nitrique étendu chaud donne un résultat à peine différent de celui qu'il donne dans le même acide froid; et dans d'autres cas encore, le métal chauffé se trouve être négatif au lieu d'être positif.

Expériences faites avec un seul métal et un seul électrolyte; application de la chaleur à un point de jonction.

Il y aurait trop de faits à rapporter pour que je pusse tous les énumérer. Je me bornerai donc à un ou deux, et je ferai le résumé du reste aussi brièvement que possible.

Fer dans du sulfure de potassium. Le fer chaud est positif relativement au métal froid. Le fil froid et négatif se conserve bien décapé, mais il se détache du fer chaud un sulfure foncé qui se répand dans la solution et la décolore. Quand on sort de la solution le fer froid et qu'on l'essuie, il ne laisse pas de trace sur le linge dont on s'est servi; le fer qui a été chauffé laisse, au contraire, sur le linge l'empreinte d'un sulfure noir.

Cuivre et solution sulfurée. Le cuivre chaud est d'abord très-positif relativement au froid, à la première immersion; mais l'effet diminue ou cesse bientôt d'après les causes générales déjà mentionnées.

Etain et solution de potasse. L'étain chaud est fortement et constamment positif relativement au froid.

Fer et acide sulfurique étendu. Le fer chaud est constamment positif relativement au froid, de 60° ou plus. Avec l'*acide nitrique étendu*, l'effet est encore plus frappant.

Voici l'énumération rapide des faits du même genre tout aussi décisifs que les autres, mais que nous groupons ensemble pour abréger.

Solution étendue de sulfure de potassium, consistant en un volume de la solution concentrée et 18 volumes d'eau. Le fer, l'argent, le cuivre donnent des résultats satisfaisants avec

cette solution. Le métal chaud est positif par rapport au froid.

Solution étendue de potasse caustique. Le fer, le cuivre, l'étain, le zinc et le cadmium, ont donné des résultats remarquables avec cette solution. Le métal chaud y était constamment positif, relativement au froid ; le plomb se comportait de même ; mais, au moment de l'immersion, une secousse soudaine se manifestait au galvanomètre, comme si le fer chaud était momentanément négatif. Lorsqu'on expérimentait avec le fer, il était nécessaire de continuer l'application de la chaleur, et on pouvait alors aisément observer la formation de l'oxide. La solution alcaline se troublait graduellement ; le protoxide formé d'abord se dissolvait, et, devenant par degrés peroxide, se séparait et rendait le liquide terne et jaune.

Acide sulfurique étendu. Le fer, l'étain, le plomb et le zinc manifestèrent dans cet électrolyte l'influence de la chaleur sur la production d'un courant, par l'augmentation de l'affinité chimique, car dans tous ces cas le métal chaud était positif.

L'*acide nitrique étendu* présente le fait curieux d'agir fortement sur un seul métal. Le côté chaud et le côté froid du fer offrent une différence remarquable, tandis qu'avec l'argent, le cuivre et le zinc, si le côté chaud paraît d'abord positif par rapport au froid, ce n'est que pour un instant.

Acide nitrique concentré. Le fer chaud y est positif par rapport au froid. Le fer est dans son état anomal, soit dans l'acide froid, soit dans le chaud.

Acide muriatique étendu (1 *vol. acide muriatique concentré*, 29 *vol. d'eau*). Cet acide est aussi remarquable par le grand nombre de faits qu'il présente, que l'acide nitrique l'est peu. Le fer, le cuivre, l'étain, le plomb, le zinc et le cadmium ont présenté avec l'acide muriatique étendu, des courants prononcés, le métal chaud étant constamment positif par rapport au froid. Les résultats étaient tous très-frappants par la force et la continuité du *courant électrique* produit.

Il se présente plusieurs autres cas dans lesquels le métal qui

est réchauffé devient négatif au lieu d'être positif. J'ai déjà indiqué la cause principale à laquelle cet effet doit être attribué. Ainsi avec la solution du *sulfure de potassium* et le zinc, à la première immersion des fils dans les parties chaude et froide de la solution, il y avait une pause, c'est-à-dire que l'aiguille ne déviait pas comme dans les cas précédents; mais le courant se manifestait graduellement ensuite, et augmentait peu à peu jusqu'à ce que la déviation de l'aiguille fût de 70° ou 80°. Le métal chaud était négatif dans l'électrolyte, relativement au métal froid. Le cadmium dans cette même solution éprouva la même pause et ensuite la même action, le métal chaud étant encore négatif; mais l'effet était moindre. Le plomb chaud était négatif, et ne produisait, de même que le cadmium, qu'un léger courant; l'étain se comportait de même, mais avec un courant à peine sensible.

Acide sulfurique étendu. Le cuivre et le zinc, après avoir manifesté dans cette solution un effet qui indiquait que le métal chaud était positif, donnèrent ensuite un effet contraire en produisant un faible courant. Le même phénomène eut lieu avec le cadmium, mais à un degré plus prononcé.

Acide nitrique étendu. Dans cette solution le plomb ne produisit d'abord aucun effet, mais il ne tarda pas à se manifester un courant électrique qui augmenta graduellement de force, au point de faire dévier l'aiguille de 20° et même plus. Le métal chaud était négatif. Le cadmium donna les mêmes résultats que le plomb. Le résultat obtenu avec l'étain fut incertain; le métal chaud sembla d'abord être légèrement négatif, il devint ensuite positif, puis le courant diminua et cessa complétement.

Je ne puis m'empêcher de voir, dans ces résultats de l'action de la chaleur, les preuves les plus fortes de la dépendance où sont les courants électriques ou circuits voltaïques de l'action chimique des substances qui forment ces circuits. De l'autre côté je ne vois pas comment la théorie du contact peut s'emparer de ces faits, si ce n'est pour ajouter une nouvelle force

à nos vues. Comment, par exemple, peut-elle expliquer les effets remarquables du fer dans le sulfure de potassium, ou dans la potasse et l'acide sulfurique; du fer, du cuivre, de l'étain, etc., dans l'acide muriatique, et même, pour tout dire, comment peut-elle expliquer aucun des effets cités? Il a été suffisamment démontré, par les résultats obtenus avec les métaux inactifs, qu'on ne peut attribuer ces effets aux courants thermo-électriques. On peut encore joindre à cette preuve celle qui résulte des effets que donnent les métaux actifs, l'argent et le cuivre dans l'acide nitrique étendu, car la chaleur produit un effet à peine sensible dans ces cas. Il me semble que la force chimique reste seule (et elle suffit bien) pour expliquer ces effets.

Si l'on allègue contre la théorie de l'action chimique, que les expériences prouvent trop ou trop peu, que la chaleur devrait produire le même effet avec tous les métaux sur lesquels agit l'électrolyte employé, je répondrai que je ne pense pas que cette conséquence soit juste. La force ainsi que d'autres circonstances de l'affinité chimique varie à l'infini avec les corps sur lesquels son action se manifeste, et l'effet additionnel de la chaleur sur l'affinité chimique doit participer nécessairement à ces variations. L'action chimique a lieu souvent sans qu'aucun courant soit produit, et il est bien connu que dans presque tous les circuits voltaïques la force chimique doit être considérée, sous le rapport électrique, comme donnant lieu à deux actions, l'une locale, l'autre qui circule. Or, la chaleur facilite souvent beaucoup l'action locale, sans toutefois que son intervention paraisse toujours être accompagnée d'une grande augmentation dans l'intensité de l'affinité chimique, tandis que d'autres fois nous sommes assurés par les phénomènes chimiques que l'intensité de la force est affectée par la chaleur. Le courant électrique n'est pas déterminé toutefois par l'intensité de l'action qui a lieu, mais par celle des affinités qui sont en jeu, et l'on peut aisément trouver des cas dans lesquels

le métal qui est exposé à la plus faible action, joue le rôle de métal positif dans un circuit voltaïque ; tels sont, par exemple, le cuivre dans un acide nitrique faible formant un couple avec un autre cuivre dans un acide fort, ainsi que le fer ou l'argent dans ce même acide faible formant un couple avec du cuivre dans un acide fort. Plusieurs combinaisons dans lesquelles le côté chaud devient finalement négatif, comme le zinc dans la solution étendue de sulfure de potassium, ou le cadmium et le plomb dans l'acide nitrique étendu, sont de cette nature ; et cependant les conditions et le résultat des expériences sont parfaitement d'accord avec la théorie chimique de l'action voltaïque.

Le rapport qu'on peut établir entre l'intensité des courants et la force de l'affinité chimique qui est leur cause excitante, est, je crois, une conséquence nécessaire de la théorie chimique. J'adoptai cette opinion en 1834[1] ; de la Rive donna, en 1836, un énoncé plus exact encore de ce principe [2] en disant que l'intensité des courants est exactement proportionnelle au degré d'affinité qui règne entre les particules, dont la combinaison ou la séparation produit les courants.

J'envisage la question de l'origine de la puissance de la batterie voltaïque comme étant entièrement décidée par les résultats qui sont indépendants de l'action de la chaleur, et qui ont déjà été exposés ; j'envisage en outre les résultats obtenus par l'emploi de la chaleur, comme une confirmation puissante de la théorie chimique, et les nombreuses questions qui s'élèvent quant aux résultats produits, ne tendent qu'à montrer l'importance du circuit voltaïque, comme moyen d'investigation sur la nature et les principes de l'affinité chimique. Cette vérité a été rendue frappante par les recherches de de la Rive avec le galvanomètre, et par les investigations de mon ami le professeur Daniell, sur la nature des acides et autres électrolytes composés.

[1] Trans. Phil. 1834, p. 428.
[2] Ann. de Chim. 1836, t. LXI, p. 44.



Expériences faites avec deux métaux et un électrolyte ; un des points de jonction étant chauffé.

Voyant que la chaleur produisait des résultats si frappants avec un seul métal, je pensai qu'il serait possible qu'elle affectât dans quelques cas la relation mutuelle des métaux, et même qu'elle en renversât l'ordre. J'obtins les résultats suivants en formant des circuits avec deux métaux et un électrolyte.

Dans la solution de *sulfure de potassium*, l'étain chaud est positif relativement à l'argent froid; l'étain froid est légèrement positif par rapport à l'argent chaud, et l'argent se ternit alors rapidement.

Dans la solution de *potasse*, l'étain froid est franchement positif par rapport à l'argent froid; l'étain chaud est encore bien plus positif relativement au plomb froid. Le cadmium froid est positif par rapport au plomb chaud, mais le cadmium chaud est encore plus positif par rapport au plomb froid. Dans ces cas, par conséquent, il y a de grandes différences produites par l'intervention de la chaleur, mais les métaux conservent leur rang.

Dans l'*acide sulfurique étendu*, le fer chaud est positif, relativement au plomb chaud, mais l'étain chaud est *encore plus positif* par rapport au plomb froid. Le fer chaud est légèrement positif par rapport au plomb froid, et le plomb chaud est vivement positif par rapport au fer froid. Ce sont là des cas d'inversion de l'ordre établi, et le rang de l'étain et celui du plomb peuvent être renversés de la même manière.

Dans l'*acide nitrique étendu*, le rang de l'étain et du fer d'une part, celui du fer et du plomb de l'autre, peuvent être renversés, quel que soit le métal chauffé, lequel est rendu positif par rapport à l'autre. Si, lorsque le fer doit être plongé dans le côté chaud, l'acide n'est que modérément chaud, il semble d'abord que l'étain doive presque surpasser le fer, tant

on peut bien balancer les forces et les rendre prédominantes d'un côté ou de l'autre à volonté. Le plomb est positif par rapport à l'étain dans les deux cas, mais il l'est infiniment plus étant chaud que froid.

Ces effets montrent avec évidence que, dans plusieurs cas, lorsqu'on emploie deux métaux différents, on peut rendre l'un ou l'autre positif à volonté en agissant sur leurs affinités chimiques, quoique les contacts des métaux entre eux restent parfaitement identiques. Ces effets montrent l'influence de la chaleur pour changer ou augmenter les différences naturelles des métaux, suivant que son action est contraire à celle des forces chimiques naturelles, ou s'ajoute à elle; nous y voyons donc une confirmation des vues auxquelles nous ont conduits le nombre considérable de faits déjà obtenus.

Il y a des cas où, comme avec les métaux seuls, la chaleur rend le métal plus négatif qu'il ne l'eût été à froid. Cela a lieu principalement avec la solution de sulfure de potassium. Ainsi avec le zinc et le cadmium, ou le zinc et l'étain, le métal le plus froid est positif. Avec le plomb et l'étain, l'étain chaud est un peu positif, et l'étain froid l'est beaucoup. Avec l'argent et le plomb, l'argent chaud est un peu positif à l'égard du plomb, l'argent froid l'est davantage. Dans ces expériences, le courant est précédé d'un moment de tranquillité, pendant lequel l'action chimique à laquelle est exposé le métal chaud rend l'effet de l'électrolyte sur lui plus faible que sur le métal froid, ce qui fait que celui-ci se trouve être supérieur.

Avant de terminer ces observations sur les effets de la chaleur, sous le rapport de l'utilité probable dont peut être l'étude du circuit voltaïque dans les investigations sur la nature intime de l'affinité chimique, je veux décrire un résultat qui, s'il était confirmé, pourrait conduire à d'importantes recherches. L'étain et le plomb réunis étant plongés dans l'acide sulfurique étendu, l'étain fut légèrement positif. Le même acide fut chauffé, et l'étain et le plomb ayant été parfaitement décapés, y furent in-

troduits de nouveau, et le plomb fut à son tour légèrement positif à l'égard de l'étain. On voit donc qu'une différence de température qui n'était pas limitée à un contact, car les deux contacts électrolytiques étaient toujours à la même température, causait une différence dans la relation de ces métaux. L'étain et le fer dans l'acide sulfurique étendu parurent donner un résultat semblable; l'étain se montra toujours positif dans le métal froid, mais dans l'acide chaud le fer l'était quelquefois. Les effets étaient faibles, et je n'eus pas le temps de pousser plus loin cette expérience.

Il va sans dire que toutes les précautions avaient été prises relativement au décapage des fils et de leurs extrémités, à l'immersion simultanée, à l'observation des premiers effets, etc., etc.

§ V. *Influence de la proportion d'eau sur l'action de la force chimique.*

Une autre manière d'affecter l'affinité chimique des métaux et des acides, et qui est applicable au cas des circuits voltaïques, consiste à varier la proportion d'eau qui est ajoutée à l'acide. On savait bien, d'après les plus simples expériences chimiques, que cette proportion influait essentiellement sur l'action qui en résulte, et il était naturel de supposer qu'elle produirait quelque changement correspondant dans un couple voltaïque. Les effets observés par Avogadro et Œrsted, en 1823, confirmèrent cette opinion; ces physiciens virent que lorsqu'un couple homogène était plongé successivement dans un acide concentré et dans un acide étendu, une inversion du courant avait lieu dans certain cas [1]. En 1828, de la Rive poussa ces investigations plus loin; il s'occupa surtout des combinai-

[1] Ann. de Chimie 1823, t. XXII, p. 361.

sons voltaïques du cuivre et du fer avec du plomb [1]. En 1827, Becquerel [2] fit des expériences avec un seul métal, le cuivre, plongé à ses deux extrémités dans une solution d'une seule substance saline, mais à différents degrés de concentration; et en 1828 [3], de la Rive fit de nombreuses et importantes expériences avec un métal et un liquide qu'il employait à différents degrés de force.

La conséquence que l'on pouvait tirer d'effets de cette nature, me paraissait si concluante, que j'ai travaillé sur ce sujet avec assez de détails, et je crois que les résultats que j'ai obtenus valent la peine d'être cités. La force du liquide conducteur est la circonstance qui exerce le plus d'influence sur l'action; mais on ne voit pas comment cette circonstance pourrait accroître la force électromotrice dans l'hypothèse du *contact pur*.

La forme de l'appareil que j'ai employé, est celle d'un tube recourbé; j'ai pris les mêmes précautions que j'ai déjà décrites dans les expériences précédentes; mais il en est d'autres encore relatives au courant qui est produit par la combinaison de l'eau avec l'acide, effet qui a été observé depuis longtemps par Becquerel [4], dont l'influence dans les recherches actuelles exige quelque explication.

L'appareil que j'ai employé est un tube en forme de U, qui contient dans sa partie inférieure de l'acide concentré, au-dessus duquel se trouve dans les deux branches parallèles, de l'acide étendu. Si l'acide est de l'acide nitrique, et que deux fils de platine communiquant aux extrémités du galvanomètre plongent dans chacune des branches, on produit un fort courant en faisant passer l'un des deux fils de l'acide étendu dans l'acide concentré; mais si les deux fils sont conjointement en

[1] Ann. de Chimie 1828, t. XXXVII, p. 234.
[2] Ann. de Chimie 1827, t. XXXV, p. 120.
[3] Ann. de Chimie 1828, t. XXXVII, p. 240—241.
[4] Traité de l'Electricité, t. II, p. 81.

repos, n'importe dans quelle partie du liquide, le courant cesse presque entièrement. Toutes les fois qu'il y avait un courant, il se dirigeait de l'acide faible au fort.

Quand le tube renferme de l'acide étendu d'un côté seulement, et que les fils de platine sont plongés d'un tiers de pouce environ dans le liquide de chaque côté, l'effet est sensiblement moindre que dans le cas précédent; il est encore plus faible si, par un petit mouvement opéré avec un fil de platine, on mélange l'acide étendu et l'acide concentré à leurs points de contact, de manière à rendre graduelle, au lieu de soudaine, la transition de l'un à l'autre. Dans ce cas, l'effet devient si minime qu'il est à peine perceptible, même lorsqu'on remue les fils horizontalement dans l'acide, et il n'est pas possible de le confondre avec les effets chimiques que nous allons avoir à décrire. Pour éviter encore plus sûrement cette chance d'erreur, je fis usage d'un acide modérément étendu au lieu d'eau. On prit également la précaution, après chaque expérience, de vider les tubes, de les laver et de les remplir d'acide nouveau, de crainte qu'un peu du métal dissous dans une expérience n'altérât les résultats de l'expérience suivante.

Je me suis servi quelquefois du tube qui n'avait l'acide étendu que d'un côté seulement, et quelquefois de celui dans lequel l'acide étendu était dans les deux branches également; j'appellerai le premier n° 1, et le second n° 2.

Je vais décrire un cas particulier qui servira d'exemple pour les autres.—Quand je prenais le tube n° 1 avec de l'acide concentré et de l'acide étendu, et deux fils de cuivre, le fil dans l'acide étendu devenait fortement positif, relativement à celui qui plongeait dans l'acide concentré, et il continuait de l'être.—Quand j'employais le tube n° 2, l'aiguille du galvanomètre se maintenait dans une direction quelconque; simplement en élevant un fil et en faisant subir une dépression à l'autre, de manière que le premier restât dans l'acide faible, et que le se-

cond plongeât dans l'acide concentré, c'était toujours le premier qui était positif.

Je n'obtenais qu'un effet à peine sensible, en substituant dans l'expérience précédente du platine, de l'or ou même du palladium au cuivre.

Acide nitrique concentré et étendu [1]. On obtint des effets considérables du genre de ceux qui viennent d'être décrits; en employant des fils homogènes des métaux suivants : argent, fer, plomb, étain, cadmium et zinc. Le métal qui plongeait dans l'acide faible était toujours positif relativement à celui qui plongeait dans l'acide concentré. L'argent produit des effets inconstants ; souvent au bout de quelque temps on voit le courant changer soudain de direction, et le métal qui plonge dans l'acide concentré devenir positif. Puis le sens du courant change encore une fois, et le métal qui plonge dans l'acide étendu passe de nouveau à l'état positif. Avec l'étain, le cadmium et le zinc une action violente dans l'acide altère les phénomènes. Avec le fer et le plomb les altèrnatives dans le tube n° 2 sont aussi remarquables qu'avec le cuivre.

Acide sulfurique concentré et étendu. Je préparai un mélange dont 49 en poids d'acide, et 9 d'eau; ce mélange formait ainsi un acide sulfurique qui renfermait deux proportions d'eau ; je me servis du tube n° 1, en employant ce mélange et l'acide le plus fort. Mais comme cette solution ne produisait sur le fer qu'un effet très-faible, comparativement à celui que produisait une solution beaucoup plus étendue, je mis d'abord de l'acide concentré dans le tube, puis je versai un peu d'eau dans l'une des branches, avec la précaution de remuer et de laisser refroidir le mélange avant de faire l'expérience.

Avec le fer, la portion de métal qui plonge dans l'acide le plus faible est fortement positive relativement à l'autre. On ob-

[1] L'acide étendu consistait en un mélange de 3 volumes d'acide concentré et 2 volumes d'eau.

tient le même résultat avec le cuivre, du moins quant à la direction du courant; mais le courant est beaucoup plus faible. Avec l'argent, le cadmium et le zinc, la différence était ou faible, ou inconstante, ou nulle; on voit que dans ces cas l'action électromotrice de l'acide concentré et celle de l'acide faible paraissent balancées. Avec le plomb et l'étain, c'était la portion de métal qui plongeait dans l'acide concentré qui était *positive* relativement à l'autre; ces métaux présentent par conséquent des effets opposés à ceux que fournissent le fer et le cuivre.

Acide muriatique concentré et étendu. Je mis l'acide muriatique pur le plus fort dans le tube n° 1, et j'ajoutai de l'eau dans celle des branches où devait se trouver l'acide étendu, en prenant les précautions indiquées. Avec l'argent, le cuivre, le plomb, l'étain, le cadmium et le zinc, le métal plongé dans l'*acide le plus fort* se montra d'abord positif; mais bientôt après le métal qui était dans l'acide étendu devint positif, et il continua de l'être. Avec le palladium, l'or et le platine, je n'obtins que des résultats presque insensibles.

Solution concentrée et étendue de potasse caustique. Avec le fer, le cuivre, le plomb, l'étain, le cadmium et le zinc, le métal qui se trouvait dans la solution la plus forte était positif; le fer donnait un résultat peu marquant; avec le cuivre, l'aiguille déviait de 30° ou 38°, et davantage avec les autres métaux que j'ai indiqués. L'argent, le palladium, l'or et le platine ne donnaient que de très-faibles indices de courant. Ainsi, l'action de la potasse et de l'acide muriatique diffère sous plusieurs rapports de celle des acides sulfurique et nitrique; toutefois, en ce qui concerne l'acide muriatique et peut-être aussi la potasse, on peut admettre que, même à leur plus grand état de concentration, ces substances ne peuvent être comparées aux acides nitrique et sulfurique concentrés, mais plutôt à ces acides lorsqu'ils sont étendus.

Je sais que l'on peut dire que les nombreux changements qu'on observe avec les acides concentrés et étendus, sont la

conséquence d'altérations correspondantes dans la force de contact : mais alors cette force doit donc changer, selon la théorie, avec la force chimique; ou bien l'on peut alléguer que c'est la force de contact des solutions produites sur les surfaces métalliques, qui, différant des autres, cause ainsi des différences d'effet : mais admettre cette explication, ce serait mettre l'effet avant la cause dans l'ordre des temps.

Si l'on peut ainsi se permettre de transporter le lieu de l'action des métaux aux liquides, en un mot, d'une place à une autre, il est tout au moins nécessaire de fournir quelques renseignements et quelques données positives concernant les portions qui sont vraiment actives. Il est difficile, à l'heure qu'il est, de saisir la théorie du contact par quelque argument tiré de l'expérience, à cause de ces incertitudes et de ces variations; et il y a, sous ce point de vue, un singulier contraste avec la précision que présente la théorie chimique quant au lieu de l'action.

Toutes les variations qui ont été indiquées s'expliquent si l'on tient compte de l'extrême variété qui existe dans l'action chimique sous certaines circonstances; mais elles me paraissent tout à fait incompatibles avec la simplicité que devrait avoir l'action du contact pur.

Ainsi, si un partisan du contact disait que les acides les plus forts ont seuls le pouvoir de rendre négatifs les métaux qui y sont plongés, et que l'effet ne peut avoir lieu par conséquent avec l'acide muriatique et la potasse, quoiqu'il ait lieu avec les acides nitrique et sulfurique, le résultat suivant serait une réponse à son argument. Le fer dans l'*acide nitrique étendu* consistant en un volume d'acide concentré et vingt volumes d'eau, est *positif* relativement au fer qui plonge dans l'acide concentré, ou dans un mélange d'acide concentré et de trois ou même cinq volumes d'eau. L'argent, dans le plus faible de ces acides, est également positif par rapport à l'argent qui plonge dans les autres proportions d'acides.

Ou bien, si, modifiant l'explication d'après les résultats que nous venons de décrire, on prétend que le fait d'étendre l'acide à un des points de contact tend *toujours* à augmenter dans une certaine proportion sa force électromotrice, et que, par conséquent, en étendant le liquide d'un côté plus que de l'autre, on permet encore à cette force d'agir, alors, comment arrive-t-il qu'avec l'acide muriatique et la potasse on ait, en les étendant davantage, un effet diamétralement contraire à celui qu'on obtient en employant l'acide nitrique avec le fer ou l'argent? Ou, si pour éluder *cette difficulté*, on veut envisager chaque électrolyte séparément, comme par exemple l'acide nitrique et l'acide muriatique, et que l'on dise que l'un peut différer de l'autre quant à l'effet qui résulte pour chacun d'eux de leur mélange avec l'eau, je demanderai comment on peut expliquer les résultats suivants, qu'on a obtenus avec un seul acide.

Je préparai quatre acides :

A était de l'acide nitrique pur.
B était composé d'un volume de A et d'un volume d'eau.
C était composé d'un volume de A et de trois volumes d'eau.
D était composé d'un volume de A et de vingt volumes d'eau.

En opérant avec ces acides et un métal, je trouvai que le cuivre dans l'acide C était positif relativement au cuivre dans les acides A ou D. Et ce n'était pas la première addition d'eau dans l'acide concentré qui produisait ce curieux effet, car le cuivre dans l'acide B était positif par rapport au cuivre dans l'acide concentré A, mais il était négatif par rapport au cuivre dans l'acide faible D. L'effet négatif de l'acide le plus fort avec ce métal ne dépend pas par conséquent d'un très-haut degré de concentration.

Le plomb présente le même phénomène. Dans l'acide C il est positif relativement au plomb qui plonge dans les acides A ou D. Dans l'acide B il est positif, relativement au plomb qui

plonge dans l'acide le plus fort, et négatif relativement à celui qui est dans le plus faible.

Je préparai aussi trois mélanges d'eau et d'acide sulfurique.

E était de l'acide concentré.
F était un volume de E avec deux volumes d'eau.
G était un volume de E avec vingt volumes d'eau.

Le plomb dans F était très-négatif relativement au plomb qui était dans E et dans G. Le cuivre dans F était aussi négatif, mais à un moindre degré, relativement au cuivre qui était dans E ou dans G. Voici donc deux cas dans lesquels les métaux placés dans un acide d'une certaine force sont *négatifs* relativement aux mêmes métaux placés dans le même acide, soit plus fort, soit plus faible. J'essayai d'employer dans tous ces cas des fils de platine pour déterminer l'effet de l'intervention de la combinaison des solutions acides soit entre elles, soit avec l'eau. Mais les résultats furent à peu près nuls, et montrèrent ainsi qu'on ne pouvait expliquer les phénomènes de cette manière.

Il est encore d'autres cas qui rendent, dans la théorie du contact, la complication encore plus complète. Avec le même acide, tantôt concentré, tantôt étendu, quelques métaux sont positifs dans l'un, et négatifs dans l'autre. Ainsi l'étain dans l'acide sulfurique concentré E, est positif relativement à l'étain qui plonge dans l'acide de force moyenne F, ou dans l'acide faible G, et l'étain dans l'acide de force moyenne F est positif relativement au même métal dans G. Le fer, au contraire, placé dans l'acide concentré E est négatif, relativement aux acides plus faibles F et G, et le fer dans l'acide moyen F est négatif relativement au même métal en G.

Ces changements successifs ne peuvent pas davantage être attribués à une progression graduelle dans l'effet de la solution dépendant de l'*ordre des métaux*. Supposons que la solution soit d'autant plus favorable à la force électromotrice de con-

tact d'un acide et d'un métal, que les métaux sont plus rapprochés d'un certain ordre, comme par exemple de l'ordre de leur efficacité dans la batterie voltaïque ; mais alors, quoique cette supposition puisse paraître expliquer la diminution graduelle d'effet qu'on observe en allant du fer au cuivre, et du cuivre à l'argent, on ne s'attendrait guère à ce que des effets contraires, c'est-à-dire qui se manifestent par une déviation dans l'autre sens, se montrassent en passant aux métaux tels que le plomb et l'étain.

On aurait cru tout au moins que le platine et l'or les auraient produits, et ces métaux ne développent aucun effet de ce genre. Pour augmenter encore plus la difficulté, il paraît, d'après ce qui vient d'être dit, qu'en changeant les acides, l'ordre doit aussi être changé, et même qu'avec le même acide, et seulement en variant la force de la solution, ce changement dans l'ordre doit aussi avoir lieu. Il paraît donc, ainsi que nous l'avons déjà observé, que pour appliquer la théorie de la force électromotrice de contact *aux faits*, il faut la tordre et la plier avec chaque variation de l'action chimique ; et, après tout, dans toutes les variétés de contact actif ou inactif, il ne se présente pas de phénomène qui soit indépendant du développement de la force chimique.

Ayant reconnu l'influence qu'exerçait le degré plus ou moins fort de concentration des acides sur le rapport de différentes parties du même métal avec un acide, une certaine portion devenant, grâce à cette influence, positive ou négative relativement à une autre, je pensai qu'il serait probable qu'en variant la force de l'électrolyte interposé, on pût changer l'ordre des métaux soit dans les acides, soit dans d'autres solutions de force semblable.

Je formai un couple de deux métaux, étain et plomb, placés chacun aux extrémités du galvanomètre ; je plaçai la solution électrolytique dans le tube n° 1, forte d'un côté, faible de l'autre, et je plongeai les fils simultanément, l'étain dans la partie

concentrée du liquide fort, et le plomb dans la partie étendue. J'observai l'effet, puis je nettoyai les fils, j'arrangeai le liquide, et je replongeai les fils, mais cette fois en mettant l'étain dans le liquide étendu, et le plomb dans le liquide concentré; j'observai de nouveau. De la Rive a déjà remarqué que des inversions ont lieu quand on emploie de cette manière de l'acide sulfurique étendu et fort; je n'ai pas réussi à les obtenir, en prenant des précautions pour éviter l'effet du liquide environnant. Toutefois les inversions sont évidentes quand il s'agit d'un autre acide, et je crois qu'il est très-important de les consigner pour éclaircir la grande question du contact et de l'action chimique. En conséquence je vais décrire quelques-uns des faits qui s'y rapportent.

Deux métaux dans une dissolution forte et faible de potasse. Le zinc est positif par rapport à l'étain, au cadmium ou au plomb, dans la dissolution soit forte soit faible. L'étain est de même positif par rapport au cadmium ou au plomb dans les deux solutions également; il en est de même du cadmium par rapport au plomb, surtout dans la solution concentrée. Ainsi, quoiqu'il y eût des différences en intensité tenant au degré de concentration de la dissolution, il n'y avait pas inversion dans le sens des courants.

Deux métaux dans l'acide sulfurique fort et faible. Le cadmium est positif relativement au fer et à l'étain dans les deux solutions; l'étain est aussi positif relativement au fer, au cuivre et à l'argent, et le fer est positif relativement au cuivre et à l'argent, quelle que soit celle des deux solutions dans laquelle plongent les métaux respectifs. Les métaux employés ont constamment conservé l'ordre relatif qu'ils auraient eu dans un acide de force homogène. Il y avait toutefois de grandes différences en degré; ainsi, le fer dans l'acide fort était seulement un peu positif, relativement à l'argent dans l'acide faible; tandis que le fer dans l'acide faible était très-positif, relativement à l'argent dans l'acide fort. En général le métal qu'on ap-

pelle ordinairement positif, était plus positif dans l'acide faible; ce n'était pourtant pas le cas avec le plomb, l'étain et le zinc.

Deux métaux dans l'acide nitrique fort et faible. Ici le changement produit par la différence dans la force de l'acide était si grand qu'il produisait non-seulement une différence en intensité, mais dans le sens du courant. Ainsi, le fer et l'argent étant dans le tube n° 2, le métal quel qu'il fût, qui se trouvait dans l'acide faible était positif, relativement à celui qui était dans l'acide fort. Il suffisait de plonger plus ou moins le métal pour le rendre positif ou négatif à volonté. Le cuivre placé dans l'acide faible était positif relativement à l'argent, au fer, au plomb ou à l'étain, plongés dans l'acide fort. Le fer dans l'acide faible était positif relativement à l'argent, au cuivre, au plomb, au zinc ou à l'étain, plongés dans l'acide concentré. Le plomb dans l'acide faible était positif relativement au cuivre, à l'argent, à l'étain, au cadmium, au zinc et au fer plongés dans l'acide fort. L'étain dans l'acide faible était positif relativement au cuivre, au plomb, au fer, au zinc et à l'argent; il était ou neutre, ou légèrement positif, relativement au cadmium dans l'acide concentré. Lorsque le cadmium est dans l'acide concentré, il est légèrement positif relativement à l'argent, au cuivre, au plomb et au fer plongé dans l'acide faible. Le zinc dans l'acide faible est légèrement positif relativement à l'argent, au cuivre, au plomb, au fer, à l'étain et au cadmium, qui sont dans l'acide concentré; quand le zinc est dans l'acide concentré, il est un peu positif relativement à l'argent et au cuivre qui sont dans l'acide faible.

On voit que des changements surprenants ont lieu dans les couples voltaïques, simplement par l'effet du plus ou moins de concentration de la solution acide. On peut rendre positifs ou négatifs à volonté, relativement à chacun des autres, les métaux qui suivent, savoir : l'argent, le cuivre, le fer, le plomb et l'étain. Il y a une seule exception, celle de l'argent qui ne peut

être positif par rapport au cuivre. L'ordre des cinq métaux que nous venons de nommer peut varier environ de cent manières avec la même solution acide, simplement comme je l'ai dit en l'employant à différents degrés de concentration.

Il en est de même des métaux suivants : zinc, étain, cadmium et plomb, ainsi que de ceux-ci : zinc, étain, fer et plomb ; chaque groupe se composant de quatre métaux, dont on peut rendre chacun positif ou négatif relativement aux autres en étendant plus ou moins la solution.

On peut rendre le fait de l'influence qu'exerce sur les métaux le degré de concentration de la solution, encore plus concluant contre la théorie du contact, en observant que le rang voltaïque des *mêmes métaux* plongés dans le *même acide*, celui-ci étant au *même degré de concentration* aux deux extrémités du tube, peut varier si l'action chimique de l'acide sur chaque métal particulier est plus ou moins affectée par le degré de force de la solution. Deux métaux, fer et argent, formant un couple voltaïque, furent plongés simultanément dans de l'acide nitrique concentré ; au premier moment le fer fut positif, mais bientôt l'argent devint positif et continua de l'être. Un couple semblable de fer et d'argent fut plongé dans de l'acide nitrique étendu ; le fer devint immédiatement positif et continua de l'être ; j'obtins les mêmes résultats avec le fer et le cuivre.

Ces derniers résultats sont donc ceux qui se manifestent finalement dans le genre d'inversion que j'ai indiqué plus haut ; mais comme le fer plongé dans l'acide nitrique concentré prend, aussitôt après son immersion, un état qu'il ne prend pas probablement dans l'acide faible, et comme l'action de l'acide sur le fer à son état *ordinaire* est de le rendre positif relativement à l'argent ou au cuivre, soit dans l'acide fort, soit dans l'acide faible, nous ne pousserons pas le rapprochement plus loin, mais nous passerons à d'autres métaux.

Argent et nickel. C'est le nickel qui est positif lorsque ces

deux métaux forment un couple dans l'acide nitrique étendu; dans l'acide concentré le nickel fut positif d'abord, mais l'argent le devint ensuite. Le nickel perdit sa supériorité par l'influence d'une pellicule qui s'y forma; et quoique cet effet puisse facilement échapper à l'observation, il faut cependant en tenir compte, et ne pas classer les résultats de cette expérience parmi les faits décisifs.

Avec le *cuivre et le nickel* plongés dans l'acide nitrique concentré, ce fut le cuivre qui devint positif d'abord. Dans l'acide nitrique étendu le nickel fut légèrement, mais évidemment, positif. Avec un couple zinc et cadmium dans l'acide nitrique concentré, le cadmium fut fortement positif relativement au zinc; dans l'acide nitrique étendu le zinc était très-positif relativement au cadmium. J'envisage ces faits comme aussi remarquables que démonstratifs.

L'acide nitrique fournit, on le voit, une variété surprenante d'effets quand on s'en sert comme conducteur électrolytique dans les circuits voltaïques, et la différence qui existe entre cet acide et l'acide sulfurique ou la potasse, dans les phénomènes qui dépendent du degré de concentration, tend, de concert avec plusieurs faits et arguments qui ont été déjà exposés, à montrer que la force électromotrice dans un circuit n'est pas la conséquence d'une puissance qui se trouve généralement dans les corps, qui puisse permettre de les classer, et qui ait ce caractère de simplicité qu'on a cru trouver dans la force de contact; mais c'est une force qui est soumise à toutes les modifications que peut éprouver la force chimique.

Les changements qui ont lieu quand de quatre ou cinq métaux différents entre eux, comme par exemple l'argent et l'étain, l'un peut être rendu positif ou négatif à volonté, relativement aux autres, me paraissent exclure entièrement l'idée que la plus petite portion des effets obtenus dans ces dispositions voltaïques puisse être attribuée au contact de ces métaux. Si on ne peut voir l'effet du contact dans ces phénomènes, on ne saurait

non plus le voir dans les autres dispositions, de manière que les conclusions tirées des autres expériences s'appliquent également à celles-ci. Or, si l'on change d'hypothèse, et que l'on attribue ces changements au contact des acides en dissolution avec les métaux, combien ce contact ne diffère-t-il pas alors de celui qui a lieu dans la classe nombreuse des corps solides conducteurs, et où trouve-t-on un exemple d'une production de courants par ce genre de contact sans qu'il y ait action chimique?

On peut prouver d'ailleurs que ces phénomènes ne peuvent être attribués à une altération dans la force de contact due à ce que la solution est plus étendue d'un côté que de l'autre, et cela en faisant usage de métaux chimiquement inactifs dans l'électrolyte employé. Ainsi, quand les acides nitrique ou sulfurique sont étendus d'un côté et non de l'autre, et que les deux portions sont réunies par le platine ou l'or qui y plongeait, ou il n'y a pas de courant sensible, ou bien il est si faible qu'il ne produit pas d'effet.

Le résultat suivant est encore plus évident. J'introduisis dans le tube une forte dissolution de sulfure jaune de potassium; d'un côté et de l'autre j'y versai une dissolution consistant en un volume de la dissolution forte et six volumes d'eau. Je réunis ensuite les extrémités avec du platine et du fer de différentes manières, et j'obtins les résultats suivants, en ayant soin de ne pas tenir compte de l'effet produit au premier moment de l'immersion : Le platine plongeant des deux côtés, ce fut celui de la dissolution forte qui fut positif, mais légèrement; la déviation n'était que de 2°. J'obtins le même résultat avec le fer; le fer étant dans la dissolution concentrée, et le platine dans l'autre, le fer fut positif relativement au platine d'environ 2°. On voit que non-seulement le contact du fer et du platine ne produit rien, mais que le contact de la dissolution forte et de la dissolution faible de l'électrolyte soit avec le fer soit avec le platine, est incapable de produire un courant. Le courant qui est con-

stant est extrêmement faible ; il tient évidemment à la position réciproque des dissolutions, et il est dû probablement à leur mélange graduel.

Les résultats que l'on obtient en étendant plus ou moins un électrolyte capable d'agir sur les métaux employés de manière à former avec lui un circuit voltaïque, peuvent dépendre en certains cas de la qualité de l'acide comme électrolyte. Il paraît, et on doit s'y attendre d'après la théorie chimique, que quelle que soit la circonstance qui tende à augmenter la puissance chimique du liquide et à le rendre meilleur électrolyte, cette circonstance favorise la production d'un courant déterminé. Quelle que puisse être la cause de l'effet produit par le degré de concentration des solutions, les résultats que nous venons d'exposer tendent à montrer combien le circuit voltaïque peut devenir un moyen précieux de faire des investigations sur la nature de l'affinité chimique.

§ VI. *Différences dans le rang des métaux considérés comme éléments des circuits voltaïques.*

Les différences que présentent les métaux quant au rang qu'on peut leur assigner comme électromoteurs, selon qu'ils forment des couples avec certains électrolytes ou avec d'autres, fournissent une classe d'arguments tirés aussi de l'expérience, et qui s'appliquent également à la grande question de l'origine de la force voltaïque. Les métaux sont rangés ordinairement selon un certain ordre ; on a coutume de dire que tel métal est négatif relativement à celui qui est placé au-dessus de lui, et positif relativement à celui qui est placé au-dessous, comme si ce métal possédait en lui-même une puissance à l'égard de tel autre. Davy mentionna, dès 1812, des exceptions à cette règle dans le cas du fer et du cuivre [1] ; et en 1828 de la Rive

[1] Eléments de phil. chim., p. 149.

montra plusieurs inversions dans différents cas [1]. Il indiqua une différence frappante dans l'ordre de certains métaux, selon qu'ils plongent dans l'acide nitrique concentré ou étendu [2], et dit clairement, dans une réfutation des conséquences tirées par Marianini de ses expériences, que tout ordre doit être considéré seulement dans ses rapports avec le liquide employé dans les expériences d'après lesquelles cet ordre se manifeste [3].

J'ai étudié ce point particulier en faisant usage de différentes dissolutions, et en ayant soin de prendre les précautions décrites précédemment, et je n'ai pas trouvé qu'il fût possible de maintenir un ordre tel que celui dont j'ai parlé plus haut. Ainsi le nickel est négatif relativement à l'antimoine et au bismuth, dans de l'acide nitrique concentré ; il est positif relativement à ces mêmes métaux dans l'acide nitrique étendu ; il est positif par rapport à l'antimoine, et négatif par rapport au bismuth dans l'acide sulfurique étendu. Il est négatif relativement au bismuth et à l'antimoine dans la potasse ; et il est fortement négatif par rapport au bismuth et à l'antimoine dans le sulfure de potassium, soit jaune, soit incolore.

Je vais prendre dix métaux, et donner l'ordre dans lequel ils doivent être rangés, dans sept dissolutions différentes.

L'acide nitrique étendu consistait en un volume d'acide concentré et 7 volumes d'eau ; l'acide sulfurique étendu était composé d'un volume d'acide concentré, et de 13 volumes d'eau. L'acide nitrique concentré était pur ; sa pesanteur spécifique était de 1,48. Les solutions forte et faible de potasse ont donné le même tableau ; le sulfure de potasse jaune se composait d'un volume de dissolution forte et de 5 volumes d'eau. Les numéros que portent les métaux indiquent l'ordre dans lequel ils sont rangés dans les acides étendus (les négatifs étant placés les pre-

[1] Ann. de Chimie 1828, t. XXXVII, p. 232.
[2] *Id.* p. 235.
[3] *Id.* p. 243.

Acide nitrique etendu.	Acide sulfurique étendu.	Acide muriatique.	Acide nitrique concentre.	Dissolution de potasse caustique.	Hydrosulfure de potasse incolore.	Hydrosulfure de potasse jaune.
1 Argent.	1 Argent.	3 Antimoine.	5 Nickel.	1 Argent.	6 Fer.	6 Fer.
2 Cuivre.	2 Cuivre.	1 Argent.	1 Argent.	5 Nickel.	5 Nickel.	5 Nickel.
3 Antimoine.	3 Antimoine.	5 Nickel.	3 Antimoine.	2 Cuivre.	4 Bismuth.	4 Bismuth.
4 Bismuth.	4 Bismuth.	4 Bismuth.	2 Cuivre.	6 Fer.	8 Plomb.	3 Antimoine.
5 Nickel.	5 Nickel.	2 Cuivre.	4 Bismuth.	4 Bismuth.	1 Argent.	8 Plomb.
6 Fer.	6 Fer.	6 Fer.	6 Fer.	8 Plomb.	3 Antimoine.	1 Argent.
7 Etain.	8 Plomb.	8 Plomb.	7 Etain.	3 Antimoine.	7 Etain.	7 Etain.
8 Plomb.	7 Etain.	7 Etain.	8 Plomb.	9 Cadmium.	2 Cuivre.	9 Cadmium.
9 Cadmium.	9 Cadmium.	9 Cadmium.	10 Zinc.	7 Etain.	10 Zinc.	2 Cuivre.
10 Zinc.	10 Zinc.	10 Zinc.	9 Cadmium.	10 Zinc.	9 Cadmium.	10 Zinc.

miers). On peut ainsi, en comparant ces nombres avec l'ordre que les métaux affectent dans les autres colonnes, remarquer d'autant mieux les exceptions remarquables que présente cet ordre à l'ordre généralement admis. Le fer y est compris, mais à son état ordinaire; sa place dans l'acide nitrique est celle qu'il possède d'après l'effet qu'on obtient à la première immersion, et non celle qu'il posséderait d'après l'effet subséquent.

Ces déplacements me paraissent aussi extraordinaires que ceux qui proviennent de la dilution, et montrent qu'il n'y a pas d'influence constante exercée par les liquides conducteurs, même par les acides, les alcalis, etc., considérés comme classes distinctes de conducteurs, et que la seule influence est celle qui résulte des rapports chimiques du liquide avec les métaux. Comment la théorie du contact peut-elle expliquer ces résultats? Il faudrait, pour rendre compte de tous ces faits, la tordre en tous sens; et encore on ne pourrait jamais montrer un seul cas de la production d'un courant par le contact seul, c'est-à-dire sans trace d'action chimique. D'un autre côté combien est simple la manière dont la théorie de l'action chimique explique les faits! Aussi loin que nous avons pu les suivre, la théorie et les faits marchent simultanément. Sans action chimique, point de courant; avec les variations de l'action chimique, il y a variations de courants; tandis que l'influence des cas de contact les plus prononcés, tels que le cas de l'argent et de l'étain, passe inaperçue. Autre confirmation de notre théorie : le pouvoir excitant n'augmente pas, il déchoit par le contact des corps, si l'action chimique qui le produit diminue; ce résultat est frappant dans l'effet des liquides environnants.

En conséquence, ainsi que l'a dit de la Rive, si l'on veut dresser une série voltaïque quelconque des métaux, elle doit être dressée eu égard au liquide excitant. De plus on doit adopter dans la série un zéro; car, comme la puissance électromotrice peut être soit à l'anode, soit au cathode, ou à tous les deux conjointement, la substance qui est sans aucune

action excitante (s'il y en a une) doit se trouver au point zéro. La liste suivante peut servir d'exemple, comme indiquant l'ordre dans lequel doivent être rangés un petit nombre de métaux et d'autres substances relativement à l'acide muriatique :

Peroxide de plomb.
Peroxide de manganèse.
Oxide de fer.
Plombagine.
Rhodium.
Platine.
Or.
Antimoine.
Argent.
Cuivre.
Zinc.

La plombagine, dans cette série, se trouve être une substance neutre. Les substances en italique sont actives comme éléments négatifs, et les autres comme éléments positifs. Les supérieures sont, il va sans dire, négatives par rapport aux inférieures. Pour rendre ces listes aussi complètes qu'elles auraient besoin de l'être, il faudrait que des nombres à partir de zéro, exprimant la force excitante relative, fussent annexés à chaque substance.

§ VII. *Couples et batteries voltaïques agissant sans contact métallique.*

Il y a un grand nombre de cas où les courants électriques sont produits par l'action chimique seule ; mais il n'y en a pas un où la production d'un courant soit due au fait seul du contact. Comme, selon moi, la question doit être résolue main-

tenant par l'autorité de l'évidence plutôt que par de simples conclusions philosophiques, je me propose d'ajouter quelques observations et quelques faits pour montrer combien les cas qui font l'objet de ce paragraphe sont nombreux et probants. — Dans la huitième série de mes Recherches, publiée en avril 1834, je fis mention de la première expérience de ce genre qu'on ait faite, à ce que je crois, et dans laquelle l'action chimique est employée à produire un courant électrique et une décomposition chimique à distance, dans un circuit simple, sans aucun contact de métaux. Je montrai, en outre, que lorsqu'un couple zinc et platine est excité à l'une de ses extrémités par l'acide nitro-sulfurique étendu, ou par une dissolution de potasse, ou même dans quelques cas par une dissolution de sel commun, on peut produire, à l'extrémité opposée, la décomposition d'une dissolution d'iodure de potassium, de protochlorure d'étain, de sulfate de soude, d'acide muriatique et de nitrate d'argent, ou des corps suivants mis à l'état de fusion, savoir : nitre, chlorures d'argent et de plomb, et iodure de plomb. Aucun contact métallique n'a lieu dans ces expériences.

Je vais ajouter de nouveaux cas aux précédents : d'abord ceux auxquels j'ai déjà fait allusion, et dans lesquels l'action d'un acide étendu produit un courant qui passe par la solution de sulfure de potassium ou d'acide nitreux vert, ou par la solution de potasse ; aucun contact métallique n'a lieu dans ces cas, et l'action chimique est la cause unique et évidente des courants qui sont produits.

Le tableau suivant contient l'énumération des cas d'excitation semblable et d'action voltaïque, produite par l'action chimique sans contact métallique. Chaque ligne horizontale contient les quatre substances formant le circuit, et ces substances sont disposées de manière à indiquer la direction du courant, laquelle direction est, dans tous les cas, de gauche à droite, au travers des corps tels qu'ils sont inscrits. Toutes les combinaisons indiquées sont capables d'effectuer une décomposition,

et elles ne sont qu'une partie de celles que j'ai formées dans le cours de mes expériences [1].

Fer	Acide nitrique étendu	Platine	Sulfure de potassium	Courant prononcé
Id.	*Id.*	*Id.*	Acide nitrique rouge	*Id.*
Id.	*Id.*	*Id.*	Acide nitriq. pâle fort	Passable
Id.	*Id.*	*Id.*	Acide nitreux vert	Très-énergique
Id.	*Id.*	*Id.*	Iodide de potassium	Courant prononcé
Id.	Acide sulfuriq. étendu	*Id.*	Sulfure de potassium	*Id.*
Id.	*Id.*	*Id.*	Acide nitrique rouge	Passable
Id.	Acide muriatique	*Id.*	Acide nitreux vert	Très-énergique
Id.	Acide muriatiq. étendu	*Id.*	Acide nitrique rouge	Passable
Id.	*Id.*	*Id.*	Sulfure de potassium	*Id.*
Id.	Dissolution de sel	*Id.*	Acide nitreux vert	Très-énergique
Id.	Eau ordinaire	*Id.*	*Id.*	Passable
Zinc	Acide nitrique étendu	*Id.*	Iodide de potassium	*Id.*
Id.	Acide muriatique	*Id.*	*Id.*	*Id.*
Cadmium	Acide nitrique étendu	*Id.*	*Id.*	*Id.*
Id.	Acide muriatique	*Id.*	*Id.*	*Id.*
Plomb	Acide nitrique étendu	*Id.*	*Id.*	*Id.*
Id.	Acide muriatique	*Id.*	*Id.*	*Id.*
Cuivre	Acide nitrique étendu	*Id.*	*Id.*	
Id.	Acide muriatique	*Id.*	*Id.*	
Plomb	Acide sulfurique fort	Fer	Acide sulfuriq. étendu	Fort
Etain	*Id.*	*Id.*	*Id.*	*Id.*
Cuivre	Sulfure de potassium	*Id.*	Acide nitrique étendu	Energique
Id.	*Id.*	*Id.*	Iodide de potassium	
Id.	Acide nitrique fort	*Id.*	Acide nitrique étendu	Très-énergique
Id.	*Id.*	*Id.*	Iodide de potassium	
Argent	*Id.*	*Id.*	Acide nitrique étendu	Fort
Id.	*Id.*	*Id.*	Iodide de potassium	Passable
Id.	Sulfure de potassium	*Id.*	Acide nitrique étendu	Fort
Etain	Acide sulfurique fort	Cuivre	Acide sulfuriq. étendu	*Id.*

[1] Pour bien faire comprendre le tableau qui suit, nous prendrons pour exemple les quatre substances qui sont inscrites dans la première ligne horizontale; il en sera de même des suivantes. Deux lames, l'une de fer,



Il me paraît probable qu'on pourrait produire un courant sans contact métallique, au moyen d'une quelconque des nombreuses combinaisons qui peuvent avoir lieu en prenant l'une des substances de chaque colonne, et en disposant ces deux substances dans l'ordre d'après lequel les colonnes sont arrangées ; je crois que quelques-uns de ces courants seraient très-énergiques.

Rhodium Or Platine Palladium Argent Nickel Cuivre Plomb Etain Zinc Cadmium	Acide nitreux fort, ou solution forte de sulfure de potassium.
Fer	Acide nitrique étendu. Acide sulfurique étendu. Acide muriatique. Dissolution d'acides végétaux. Iodide de potassium. Dissolution de sel. Iodide de zinc. Plusieurs dissolutions métalliques.

On peut joindre aux cas qui précèdent les cas très-nombreux également, dans lesquels un métal dans un acide homogène donne des courants quand une des extrémités est chauffée, et ceux dans lesquels un métal avec un acide fort d'un côté, et étendu de l'autre, donne aussi un courant.

l'autre de platine, plongent sans se toucher, dans l'acide nitrique étendu par une de leurs extrémités, et dans le sulfure de potassium par l'autre ; le sulfure de potassium est décomposé, etc. (R.)

Dans les cas où, en étendant un acide, on peut rendre un métal soit positif soit négatif relativement à un autre, la moitié des résultats devrait être ajoutée aux résultats précédents, si ce n'est qu'ils sont trop énergiques; car, au lieu de prouver que l'action chimique peut produire un courant sans l'intervention du contact, ils prouvent la nullité complète de cette dernière force, par la production d'un courant qui se manifeste dans les circonstances qui lui sont contraires, aussi bien que dans celles qui lui sont favorables.

Sir Humphry Davy a montré, en 1801 [1], qu'il était facile de construire des batteries sans contact métallique, lorsqu'il a décrit divers arrangements qui n'admettaient qu'un métal. Plus récemment Zamboni a construit une pile composée seulement d'un métal et d'un fluide [2]; la seule différence est l'étendue du contact aux deux surfaces.

On peut facilement construire des batteries voltaïques avec un seul métal, en réunissant ensemble les couples qu'on a formés au moyen de deux tiges du même métal plongées l'une dans un acide concentré, l'autre dans le même acide étendu. Le courant développé par de semblables batteries va dans une direction ou dans l'autre, selon le sens qu'il a dans chacun des couples de la batterie.

§ VIII. *Considérations destinées à montrer que l'action chimique suffit à l'explication des phénomènes voltaïques.*

Il ne manque pas de cas, on le voit, dans lesquels l'action chimique seule suffit pour produire des courants voltaïques; et si nous examinons de plus près la correspondance qui doit

[1] Transactions Philos. 1801, p. 397. Journal de l'Ins. royale 1802, p. 51, et Journal de Nicholson 1802, p. 144.

[2] Quarterly Journal des sciences, t. VIII, p. 177, ou Ann. de Chimie, t. XI, p. 190. (1819.)

exister entre l'action chimique et le courant qui est développé, nous trouverons que plus nous poussons loin l'investigation, plus cette correspondance devient exacte ; les expériences suivantes suffiront pour démontrer l'exactitude de ce que je dis.

L'action chimique dégage de l'électricité. Cette vérité a été abondamment prouvée par Becquerel et de la Rive ; l'arrangement voltaïque acide et alcali du premier [1] est une preuve entièrement satisfaisante que l'action chimique suffit à produire des phénomènes électriques. Un grand nombre des résultats décrits dans le présent mémoire, concourent également à prouver ce fait.

Le courant électrique diminue et cesse là où l'action chimique après avoir existé diminue et finit par cesser. Les cas de l'étain, du plomb, du bismuth et du cadmium, dans la dissolution de sulfure de potassium, sont d'excellents exemples de la vérité de cette proposition.

Si un morceau d'étain en grenaille est plongé dans l'acide nitrique fort, il n'exercera en général aucune action à cause de la pellicule d'oxide qui s'y forme par la chaleur produite pendant qu'on la met en grenaille. Deux fils de platine réunis par un galvanomètre, et plongés dans l'acide, ne produiront non plus aucun courant, quoique l'un d'eux soit pressé contre le morceau d'étain. Si, pendant que l'expérience en est à ce point, on écaille l'étain dans l'acide avec une tige soit de verre, soit d'une autre substance non conductrice, qui puisse enlever la surface du métal, l'acide agit alors sur cette surface nouvellement découverte, et produit un courant ; mais l'action cesse au bout d'un moment, à cause de la formation d'un oxide d'étain, et de la saturation de la dissolution environnante, et le courant cesse également avec l'action. Chaque nouvelle friction opérée sur la surface de l'étain reproduit la même série de phénomènes.

[1] Ann. de Chimie 1827, t. XXXV, p. 122. Bibliothèque Universelle 1838, t. XIV, p. 129, 171.

Le cas du fer dans l'acide nitrique fort, qui agit et produit un courant au premier moment, mais auquel cette même action enlève une si grande portion de son activité, soit chimique soit électrique, rentre dans la même catégorie de faits.

Si le plomb et l'étain forment un couple dans l'acide muriatique, le plomb est positif d'abord relativement à l'étain. L'étain devient ensuite positif, et continue de l'être. J'attribue ce changement à la circonstance que le chlorure de plomb formé envahit partiellement ce métal, et empêche la continuité de l'action ; mais le chlorure d'étain étant beaucoup plus soluble que celui de plomb, passe plus facilement dans la solution ; l'action s'y continue par conséquent, et le métal manifeste un état positif permanent.

L'effet du fluide environnant, effet dont j'ai déjà parlé dans les cas de l'étain et du cadmium, rentre dans le même ordre de faits ; il en est de même de quelques-uns des résultats qu'on obtient avec deux métaux plongés dans l'acide chaud d'un côté, et froid de l'autre, et de ceux dans lesquels le métal plongé dans un acide chauffé devient négatif relativement au même métal dans l'acide froid. On obtient un charmant exemple de la dernière espèce de résultats en plongeant deux morceaux de plomb dans l'acide nitrique étendu. Si on les laisse quelque temps, l'aiguille demeure à peu près à 0° ; mais si on chauffe l'un des côtés, le métal du côté chauffé devient négatif de 20° ou plus, et il continue de l'être tant que la chaleur subsiste. Si on refroidit le côté précédemment chauffé, et qu'on chauffe le côté opposé, le morceau de plomb qui était positif devient négatif à son tour ; on peut opérer ce changement à plusieurs reprises.

Quand l'action chimique change, le courant change aussi. Cette vérité est démontrée quand on plonge dans le même fluide deux morceaux du même métal actif. Ainsi, si deux morceaux d'argent forment un couple dans de l'acide muriatique fort, l'un sera d'abord positif et l'autre le sera ensuite, et les

changements dans la direction du courant ne seront pas lents et graduels, mais extrêmement prompts et complets. Si l'argent et le cuivre forment un couple dans une solution étendue de sulfure de potassium, le cuivre sera chimiquement actif et positif, et l'argent demeurera brillant, jusqu'à ce qu'à un certain moment ce dernier se couvre tout à coup de sulfure, preuve du commencement d'action chimique qui a lieu; l'aiguille du galvanomètre dévie alors immédiatement jusqu'à 180°. Deux morceaux d'argent ou de cuivre dans une solution de sulfure de potassium, produisent les mêmes effets.

Si l'on fait usage de métaux qui sont inactifs dans les fluides employés, et que ceux-ci n'éprouvent pendant l'expérience aucun changement provenant de la chaleur, il va sans dire qu'il n'y a ni production de courant, ni changement de direction, etc.

Aucun courant n'a lieu lorsqu'il n'y a aucune action chimique. On sait bien que tel est le cas avec les conducteurs solides aussi bien qu'avec des métaux et d'autres corps. Ce cas se représente aussi lorsqu'on emploie des conducteurs liquides (électrolytes) dans tous les cas où ils n'exercent aucune action chimique, quoiqu'on ait employé des substances différentes, telles que des acides, des alcalis et des sulfures. Ce sont là des faits très-frappants, dont nous avons cité un grand nombre d'exemples.

Le courant a lieu au moment où l'action chimique commence. L'expérience suivante montre bien clairement le fait. Disposez des tubes en forme de U, à la suite les uns des autres, en les remplissant du même acide nitrique concentré, pur et peu coloré. Deux fils de platine, qui communiquent aux extrémités du galvanomètre, plongent dans une branche de chacun des tubes, les deux autres branches sont réunies par un fil de fer. Pendant que les choses sont disposées ainsi, aucun courant ne se manifeste, mais si l'on ajoute à l'acide où plonge l'un des bouts du fil de fer, une goutte d'eau, l'action chimique

commence, et un courant énergique se manifeste quoiqu'il n'y ait pas de nouveau contact métallique. Pour faire ces observations, on met d'abord une goutte d'eau sur l'acide. Il n'y a d'abord ni action chimique ni courant, quoique l'eau ait été ajoutée; mais elle l'a été de manière à ne pas produire d'effet. L'eau et l'acide se mélangent ensuite autour de l'extrémité du fil de fer; au bout de quelques instants, l'action chimique se manifeste, le fer émet du gaz nitreux à la place où a lieu l'action; il devient en même temps positif à cet endroit, et il produit un courant électrique puissant.

Quand l'action chimique qui a ou qui aurait produit un courant dans une direction, est renversée ou détruite, le courant est également ou renversé ou détruit. Ce principe ou résultat, qui confirme avec force la théorie de l'excitation voltaïque, est démontré par plusieurs faits importants. Volta, en 1802 [1], montra que l'oxide cristallisé de manganèse était fortement négatif, relativement au zinc et à d'autres métaux semblables, mais il attribuait suivant sa théorie l'électricité au contact du zinc.

Becquerel étudia ce point avec attention en 1835 [2], et arriva au résultat, mais exprimé avec réserve, que les faits étaient favorables à la théorie du contact. L'année suivante, de la Rive reprit le sujet [3], et montra, selon moi du moins, que le peroxide est soumis pendant la durée de l'expérience, à un changement chimique, et qu'il perd de l'oxigène, changement parfaitement d'accord avec la direction du courant qu'il produit.

Le peroxide, quand il forme un couple avec le platine dans l'acide vert nitreux, occasionne un courant, et il est négatif par rapport au platine, en même temps qu'il convertit l'acide nitreux en acide nitrique, changement facilement démontré par

[1] Ann. de Chimie 1802, t. XL, 224.
[2] Ann. de Chimie 1836, t. LXI, et Bibl. Univ. 1836, t. I, p. 152, 158.
[3] Bibl. Univ. 1836, t. I, p. 160.

une expérience chimique tout ordinaire. Dans l'acide nitrique l'oxide est négatif relativement au platine ; mais son état négatif est très-augmenté, si un peu d'alcool est ajouté à l'acide, cette substance aidant à la réduction de l'acide. Quand l'oxide forme un couple avec du platine dans une solution de potasse, l'addition d'une petite quantité d'alcool favorise singulièrement par la même raison l'augmentation du courant. Quand le peroxide et le platine forment un couple avec une dissolution de sulfure de potassium, le peroxide, ainsi qu'on pouvait s'y attendre, est fortement négatif.

Mr. Muncke [1] remarqua, en 1835, la faculté remarquable du peroxide de plomb pour produire des phénomènes semblables à ceux du peroxide de manganèse, phénomènes que Mr. de la Rive attribua, dès 1836, à des changements chimiques correspondants [2]. Mr. Schœnbein n'admet pas cette opinion, et il appuie ses vues des *courants de tendance* sur le phénomène que présente ce corps, et sur son absence d'action avec l'acide nitrique [3]. Mes propres résultats confirment ceux de Mr. de la Rive, car j'ai trouvé, par des expériences directes, que le protoxide agit sur ces corps de la même manière que l'acide nitrique. La potasse et l'acide nitrique pur et fort, versé bouillant sur du peroxide de plomb, le font dissoudre aussitôt et forment du protonitrate de plomb. Je partageai en deux portions de l'acide nitrique étendu ; j'essayai l'une des portions avec une solution d'hydrogène sulfuré, et elle ne donna aucun indice de la présence du plomb. Je mêlai l'autre avec un peu de peroxide de plomb à une température ordinaire, et après l'avoir filtrée et essayée au bout d'une heure, j'y trouvai une quantité notable de plomb.

Le peroxide de plomb est négatif relativement au platine dans des solutions de sel ordinaire et de potasse, substances

[1] Bibl. Univ. 1836, t. I, p. 160.
[2] Bibl. Univ. 1836, t. I, p. 162, 154.
[3] Mag. Phil. 1838, t. XII, p. 226, 311, et Bibl. Univ. 1838, t. XIV, p. 155.

que l'on pourrait supposer n'exercer aucune action chimique sur ce corps. Mais des expériences directes montrent qu'elles exercent une influence suffisante pour produire tous ces effets. Une autre circonstance qui montre que le courant, dans le circuit voltaïque formé par ces substances, a une origine chimique, c'est la rapide diminution de sa force après le premier moment de l'immersion.

Le liquide qui produisait les effets les plus énergiques avec le peroxide de plomb et le platine, était une dissolution de sulfure jaune de potassium. Une manière commode de faire ce genre d'expérience, était de faire du peroxide une sorte de pâte fine, avec un peu d'eau distillée, pour en couvrir l'extrémité inférieure d'une plaque de platine ; on se sert d'une tige de verre pour l'étendre bien uniformément ; la couche n'a que l'épaisseur nécessaire pour couvrir le platine. On la sèche bien, et enfin on forme un couple avec la plaque qui a subi cette préparation et une plaque bien décapée du même métal, en les plongeant toutes deux dans l'électrolyte employé. Il faut que la plaque de platine soit parfaitement recouverte de la couche de peroxide ; sans cela les courants électriques locaux ont lieu, et modifient le résultat. De cette manière on prouve facilement que le peroxide est négatif par rapport au platine, soit dans la solution de sulfure de potassium, soit dans celle d'acide nitrique. Le plomb rouge donne les mêmes résultats dans ces deux liquides.

Avec cette solution sulfurée et des protoxides, on obtient la même preuve en faveur de la théorie chimique qu'en employant les peroxides. Ainsi, du protoxide de plomb pur, obtenu du nitrate par la chaleur et la fusion, étant appliqué sur la plaque de platine, se montra fortement négatif par rapport au platine métallique dans la dissolution de sulfure de potassium. De l'oxide blanc de plomb, appliqué de la même manière, se comporta de même. Ces deux corps, comparés au platine dans de l'acide nitrique étendu, étaient au contraire fortement positifs.

Ce même effet se manifeste très-bien dans l'action qu'éprouve le fer oxidé. Si une plaque de fer s'oxide par la chaleur, de manière à donner un oxide de nature à ne pas offrir prise à la solution de sulfure, il n'y a que peu ou point de courant, l'oxide se comportant comme du platine dans la solution. Mais si le fer a été oxidé, soit au moyen de l'exposition à l'air, soit en étant mouillé puis séché, soit en étant humecté par un peu d'acide nitrique ou sulfurique étendu, et ensuite lavé, d'abord dans une dissolution d'ammoniaque ou de potasse, et ensuite dans de l'eau distillée, puis enfin séché, ou finalement s'il a été humecté dans une dissolution de potasse, puis chauffé à l'air, bien lavé dans l'eau distillée, et ensuite séché, ce fer, quand il forme un couple avec le platine dans une dissolution de sulfure, produit un courant énergique jusqu'à ce que la réduction entière de l'oxide ait eu lieu ; le fer est négatif pendant toute la durée de l'expérience.

Un morceau de fer oxidé natif est énergiquement négatif dans cette même dissolution. Il en est de même d'une plaque de platine recouverte d'un revêtement de protoxide ou de peroxide, ou de carbonate de fer natif.

Ce résultat est un de ceux contre lesquels il faut se tenir en garde dans les expériences que nous avons décrites précédemment. Si l'on plonge dans une dissolution étendue de sulfure de potassium, une plaque de fer bien décapée, elle est d'abord négative relativement au platine, puis neutre et enfin légèrement positive. Si on la plonge dans une dissolution forte, elle est négative d'abord, puis elle devient neutre, et elle continue de l'être. On ne peut la décaper assez bien avec le papier de sable, pour qu'elle ne soit pas négative à la première immersion ; mais cet état dure d'autant moins que la plaque a été plus récemment et mieux décapée. Cet effet est dû à l'oxidation instantanée de la surface du fer pendant son exposition momentanée dans l'atmosphère, et à la réduction subséquente de l'oxide par la solution. Ce résultat ne paraîtra pas extraordi-

naire à ceux qui réfléchiront aux caractères du fer. Le fer sans alliage, en forme d'éponge, prend feu spontanément à l'air; une plaque récemment décapée exhale une odeur d'hydrogène si elle est trempée dans l'eau, si on la ternit par l'haleine, ou même si elle est exposée à l'air. La fine pellicule d'oxide qui s'y forme pendant une exposition momentanée à l'air, est donc bien suffisante pour expliquer la production du courant électrique.

Pour donner une nouvelle preuve de l'exactitude de ces explications, je plaçai une plaque de fer dans une dissolution de sulfure de potassium, et je l'y frottai avec un morceau de bois qui avait trempé pendant quelque temps dans ce même sulfure. Le fer se montra neutre ou très-légèrement positif, relativement au platine avec lequel il formait un couple. Pendant qu'il était lié au platine, je le frottai de nouveau avec le bois pour obtenir une surface de contact nouvelle; il ne devint pas négatif, mais il continua d'être très-faiblement positif, effet qui prouvait que le courant dans lequel il était négatif n'était que le résultat temporaire de la pellicule d'oxide dont le fer s'était recouvert à l'air.

Le nickel paraît être soumis à la même action que le fer, quoique à un beaucoup moindre degré. Il présente toutes les mêmes circonstances, et en particulier, la dernière expérience que nous avons faite avec le fer fut répétée avec le nickel avec le même succès.

Tous les phénomènes obtenus avec les protoxides et les peroxides, concourent à faire attribuer le courant à l'action chimique; en montrant non-seulement que le courant dépend de cette action, mais aussi que la *direction* du courant dépend de la nature de l'action que l'affinité chimique détermine sur celui des éléments du couple qui donne naissance au courant. C'est, selon moi, une circonstance très-remarquable que les corps qui produisent des courants lorsqu'ils peuvent agir chimiquement les uns sur les autres, n'en donnent pas le plus lé-

ger indice lorsqu'il n'y a que le *contact seul*, quoiqu'ils soient excellents conducteurs de l'électricité et qu'ils puissent facilement transmettre les courants qui proviennent de sources plus énergiques.

En présence d'une masse de faits qui prouvent jusqu'à l'évidence l'efficacité de la puissance de l'action chimique ; avec tant de circuits, au moyen desquels on obtient des courants sans contact métallique, et tant de circuits où malgré le contact il n'y a pas de courants, comment pourrait-on attribuer l'effet qu'on observe dans les cas où l'action chimique et le contact se trouvent réunis, au contact et non à la force chimique seule ? Cette manière de raisonner me paraîtrait très-peu philosophique ; ce serait repousser une cause active et dont l'existence est bien démontrée, pour en admettre une purement hypothétique.

§ IX. *Preuves tirées des courants thermo-électriques.*

Les phénomènes que présente la belle découverte de Seebeck, des courants thermo-électriques, a été occasionnellement et est encore citée comme preuve de l'influence électromotrice du contact, quand ce contact a lieu entre les métaux et les autres conducteurs solides semblables. Il suffira de peu de mots, je crois, pour montrer combien peu ces phénomènes appuient la théorie en question.

Si le contact des métaux exerce une influence excitante dans le circuit voltaïque, nous ne pouvons douter que les courants thermo-électriques ne soient dus à la même force, c'est-à-dire au déplacement par une température locale des forces balancées des différents contacts dans un circuit métallique ou dans un autre du même genre. Ceux qui citent les effets de la chaleur comme preuve de l'effet du contact, ne peuvent qu'admettre cette opinion.

Si l'on admet l'existence de la force du contact, nous devons aussi admettre que la chaleur augmente ou diminue la force électromotrice du contact ; car, si A est de l'antimoine, et B du bismuth, par exemple, la chaleur appliquée à un des points de contact produit un courant qui va dans une certaine direction. Si l'on avance que le bismuth en contact avec l'antimoine tend à devenir positif et ce dernier à être négatif, alors le sens du courant indique que la chaleur diminue cet effet. Mais si l'on suppose que la tendance du bismuth est de devenir négatif, et celle de l'antimoine d'être positif, la chaleur alors augmente cette tendance. Je ne vois pas clairement comment l'on peut décider laquelle il faut adopter de ces deux données, car il n'y a rien dans les phénomènes thermo-électriques qui puisse faire décider la question par le galvanomètre.

Si nous consultons ce qui se passe dans le circuit voltaïque, l'état électrique relatif de l'antimoine et du bismuth varie selon le liquide conducteur qu'on emploie. L'antimoine, qui est négatif par rapport au bismuth avec les acides, est positif avec un alcali ou un sulfure de potassium ; cependant nous voyons que ces métaux sont très-voisins et placés au milieu de l'échelle électrique des corps. Dans l'échelle thermo-électrique, au contraire, ils sont aux extrémités, étant aussi opposés l'un à l'autre que possible. Il y a longtemps que le professeur Lumming a indiqué cette différence. Comment peut-elle se concilier avec la théorie du contact ?

Il y a plus, si l'argent et l'antimoine forment un circuit thermo-électrique, et que le point de jonction soit chauffé, le courant va de l'argent à l'antimoine. Si l'argent et le bismuth forment un couple thermo-électrique, et que le point de jonction soit chauffé, le courant se manifeste du bismuth à l'argent ; en supposant que la chaleur accroisse la force du contact, ces résultats donneront la direction de la force électromotrice de contact entre ces métaux de la manière suivante : courant de l'argent à l'antimoine, courant du bismuth à l'ar-

gent. Mais dans les séries voltaïques le courant va de l'argent à l'antimoine ou au bismuth à travers leurs points de contact, toutes les fois qu'on emploie de l'acide sulfurique, de l'acide nitrique étendu, de l'acide nitrique fort, ou une solution de potasse. Ainsi le contact métallique ne peut en tout cas jouer qu'un bien petit rôle. Dans le sulfure jaune de potasse le courant va de l'antimoine ou du bismuth à l'*argent*, résultat aussi inconciliable que le premier avec ce qui se passe dans les effets thermo-électriques. Quand on emploie, pour compléter le circuit voltaïque, de l'hydrosulfure de potasse incolore, le courant va du bismuth à l'argent, et de l'argent à l'antimoine; avec de l'acide muriatique fort c'est le contraire qui a lieu, car le courant va de l'argent au bismuth, et de l'antimoine à l'argent. Quand nous parlons ici du sens du courant, nous l'entendons d'un métal à l'autre à travers les points de contact, et non à travers le liquide.

Dans la série thermo-électrique, le courant va du cuivre à l'or; il va également de l'étain et du plomb au cuivre, au rhodium et à l'or; du zinc à l'antimoine, au fer, ou même à la plombagine. Le bismuth donne un courant qui va de lui au nickel, au cobalt, au mercure, à l'argent, au palladium, à l'or, au platine, au rhodium, à la plombagine; en prenant toujours le sens du courant aux points de contact entre les métaux. Ces courants ont donc tous une direction contraire à celle des courants qui sont produits par les mêmes métaux quand ils forment des circuits voltaïques avec des solutions acides ordinaires.

Ces anomalies et un grand nombre d'autres sont faciles à reconnaître; elles ne peuvent s'expliquer que par la supposition d'un effet spécifique du contact de l'eau, des acides, des alcalis, des sulfures et d'autres électrolytes excitants avec chaque métal. Cette force de contact serait non-seulement sans rapport avec le contact tout métallique des circuits thermo-électriques, mais elle ne pourrait donner lieu à un état d'équilibre

dans le circuit complet lorsque les températures seraient uniformes, et de plus elle ne conduirait à aucune relation, dans l'ordre suivant lequel les métaux devraient être classés, avec celui que leur assignent les effets thermo-électriques.

Voici encore une plus grande anomalie de cette théorie. Il faut se rappeler que, quoique l'échelle thermo-électrique des corps soit différente de leur ordre voltaïque ordinaire, cette échelle est parfaitement régulière, c'est-à-dire que si le fer et l'antimoine sont faibles l'un à l'égard de l'autre par exemple, et que le bismuth soit fort à l'égard du fer, il sera fort à l'égard de l'antimoine. Il faut se souvenir aussi que, si le courant électrique passe du rhodium à l'antimoine, au point de jonction chauffé, il passera bien plus activement du bismuth à l'antimoine. Pour que ce rapport, qui est réel et simple, se représentât dans la série voltaïque, il ne faudrait pas que l'acide sulfurique fût fortement énergique avec le fer ou l'étain, et faible avec l'argent, puisque ces métaux ne sont pas très-éloignés les uns des autres dans l'échelle thermo-électrique; ce même acide ne devait pas non plus agir voltaïquement de la même manière à l'égard du platine et de l'or, puisque ces deux métaux sont très-distants l'un de l'autre sous le rapport thermo-électrique.

Quel argument les courants thermo-électriques fournissent-ils donc en faveur du contact, puisqu'il faut attribuer à l'acide, ou à tel autre électrolyte dont on fait usage, la force qui est développée, et que celle-ci varie non-seulement avec chaque métal, mais encore avec la nature de l'action chimique? Les partisans de la théorie du contact paraissent croire que ceux de la théorie chimique doivent aussi rendre compte des phénomènes thermo-électriques. Je ne vois pas, quant à moi, la relation qu'il y a entre le circuit de Seebeck et la pile voltaïque, et je pense que les recherches de Becquerel autorisent suffisamment à ne pas les confondre.

§ X. *Nature improbable de la force de contact telle qu'elle est admise.*

J'ai rapporté un certain nombre d'expériences et les conclusions que j'en ai tirées ; toutes me paraissent très-propres à éclaircir le point contesté, et venir heureusement à l'appui des faits et des arguments qu'ont déjà mis en avant les hommes éminents qui se sont déclarés en faveur de la théorie chimique contre celle du contact. Je terminerai par un argument fondé sur la nature peu philosophique, selon moi, de la force par laquelle on explique les phénomènes dans la théorie du contact.

Cette théorie suppose que, lorsque deux métaux ou plutôt deux corps de nature différente se touchent, les particules dissemblables agissent l'une sur l'autre et produisent des états différents. Je suis loin de nier ce fait ; mais je pense que dans bien des cas un effet pareil a lieu entre les particules contigües, comme par exemple préalablement à l'action dans les phénomènes chimiques ordinaires, et comme pour préparer cet acte de combinaison chimique, qui dans le circuit voltaïque produit le courant.

Mais dans la théorie du contact, on ajoute que ces particules, qui ont par leur action mutuelle acquis des états électriques opposés, peuvent se transmettre l'une à l'autre ces états, et toutefois rester dans l'état où elles se trouvaient d'abord, n'étant sous aucun rapport modifiées par ce qui a eu lieu préalablement. Cette théorie prétend aussi que les particules étant rendues positives et négatives par leur action mutuelle, peuvent, pendant qu'elles sont sous cette influence, se décharger sur des particules de la même nature qu'elles-mêmes et produire ainsi un courant.

Cette supposition n'est point du tout en accord avec les ac-

tions connues. Si nous prenons deux substances, telles que l'oxigène et l'hydrogène, qui soient en rapport par les phénomènes chimiques, nous pouvons concevoir que deux particules, une de chaque substance, étant réunies et soumises à l'action de la chaleur, puissent avoir à leurs surfaces opposées des états différents, selon peut-être la théorie de Berzélius, et que ces états, devenant de plus en plus prononcés, se résolvent enfin par une décharge mutuelle, résultat qui serait indiqué par le fait que les particules se trouvent finalement combinées et incapables de reproduire les mêmes effets. Tant qu'elles sont sous l'influence, et avant que l'action finale ait eu lieu, elles ne peuvent pas perdre spontanément l'état qu'elles ont acquis; mais par la suppression de la cause qui a augmenté l'énergie de leur état respectif d'influence, savoir la chaleur, l'effet peut être ramené à ce qu'il était auparavant. Si les particules agissantes font partie d'un électrolyte, elles peuvent produire un courant d'une force proportionnée au montant de la force chimique mise en jeu.

Mais la théorie du contact, qui est obligée, pour se conformer aux faits, d'admettre que les particules agissantes ne sont pas modifiées (car autrement elle rentrerait dans la théorie chimique), doit admettre aussi que la force qui est capable de faire prendre à deux particules un certain état l'une par rapport à l'autre, est incapable de leur faire conserver cet état; elle donne par là un démenti à ce grand principe de philosophie naturelle, que la cause et l'effet sont équivalents. Si une particule de platine en contact avec une particule de zinc lui donne spontanément son électricité, parce que celle-ci tend par sa présence à faire prendre au platine un état négatif, pourquoi la particule de platine prendrait-elle l'électricité de toute autre particule semblable de platine, située derrière elle? Cette action ne tendrait à autre chose qu'à détruire l'état auquel le zinc vient de la réduire. Ce n'est pas ainsi que les choses se passent dans les phénomènes d'induction ordinaire (et Marianini

admet que l'effet du contact peut avoir lieu à travers l'air, et à des distances appréciables [1]), car une boule rendue négative par induction, ne prendra pas l'électricité des corps environnants, lors même qu'on a détruit son isolement; et si nous forçons l'électricité à y pénétrer, elle sera repoussée pour ainsi dire avec une puissance équivalente à celle avec lequel le corps électrisé exerce son influence.

Si l'on suppose plutôt que la particule de zinc tende par son action inductive à rendre positive la particule de platine, et que celle-ci, étant en communication avec le sol par d'autres particules semblables, leur soutire de l'électricité et acquière ainsi un état positif; pourquoi communiquerait-elle cet état au zinc, cette même substance qui, ayant forcé le platine à le prendre, devait être capable de le conserver elle-même? Ou encore, si le zinc tend à rendre positive la particule de platine, pourquoi l'électricité n'irait-elle pas du zinc au platine, puisque celui-là est tout aussi bien en contact avec le platine, que peuvent l'être les particules de platine environnantes? Ou enfin, si la particule de zinc en contact avec le platine tend à devenir positive, pourquoi l'électricité ne va-t-elle pas à elle des particules de zinc aussi bien que des particules de platine [2]? On ne peut assigner aucune cause probable ou philosophique à cette action supposée ; on ne peut pas mieux expliquer pourquoi l'un ou l'autre des effets mentionnés ci-dessus n'aurait pas lieu, et, ainsi que je l'ai déjà dit, je ne connais pas un seul fait ou un seul cas de courant par contact, sur lequel la théorie puisse s'appuyer.

[1] *Memorie della Soc. Ital. in Modena* 1837, t. XXI, p. 232, 233, etc.

[2] Je me suis exprimé, pour plus de simplicité, comme si un métal était actif et l'autre passif en amenant ces états d'induction, et non comme s'ils étaient soumis respectivement à l'action l'un de l'autre ; mais ceci ne diminue en rien la force de l'argument, tandis qu'en essayant de décrire en détail les changements qui auraient lieu des deux côtés, j'aurais rendu plus difficiles à saisir les objections qui s'élèvent, et qui sont également fortes dans les deux cas.

La théorie du contact pose en fait, qu'une force capable de surmonter une résistance énergique, comme par exemple celle des conducteurs bons ou mauvais par lesquels le courant passe, et celle de l'action électrolytique des corps décomposés par elle, peut provenir de zéro ; en d'autres termes elle admet que, sans changement dans la substance agissante ou consommation d'une force génératrice quelconque, un courant peut être produit, et que ce courant surmontera une résistance constante ou qui ne s'arrêtera, comme dans les auges voltaïques, que devant les obstacles que ses propres efforts ont amoncelés dans son cours. Voilà un phénomène qui serait véritablement une *création de puissance*, et qui ne ressemblerait à aucune des autres forces que la nature nous présente. Nous avons un grand nombre de procédés par lesquels la forme d'une puissance peut être tellement changée qu'on a une *conversion* apparente d'une force dans une autre. Ainsi nous pouvons changer la force chimique en courant électrique, ou le courant électrique en force chimique. Les belles expériences de Seebeck et de Peltier montrent la possibilité de changer la chaleur en électricité ; d'autres expériences d'Œrsted et celles que j'ai faites moi-même, montrent le changement mutuel de l'électricité en magnétisme. Mais dans aucun cas, pas même dans le cas du gymnote et de la torpille, il n'y a création pure de force ; il n'y a pas de puissance produite sans l'absorption correspondante de quelque chose qui l'entretienne [1].

1 Je regrette de n'avoir pas eu connaissance plus tôt de l'opinion insérée sur ce sujet par le docteur Roget dans son *Traité du Galvanisme* (Bibliothèque des connaissances utiles en date de Janvier 1839). Le docteur Roget est un partisan de la théorie chimique ; le passage auquel je fais allusion est contenu dans le § 113 de l'article *Galvanisme*. Il dit en parlant de la théorie voltaïque du contact : « S'il fallait d'autres considérations pour renverser cette théorie, on pourrait tirer un argument sans réplique de la considération suivante. S'il existait une puissance qui eût la propriété que l'hypothèse lui attribue, savoir de donner à un fluide une impulsion dans une direction constante sans être épuisée par sa



On devrait toujours se souvenir que la théorie chimique a pour point de départ l'existence d'un pouvoir prouvé d'avance; ses variations viennent ensuite, et il est rare qu'elles ne soient pas d'accord avec quelque fait chimique simple, correspondant. La théorie du contact part, au contraire, d'une supposition à laquelle elle en ajoute d'autres, selon que les cas le requièrent, jusqu'à ce qu'enfin elles deviennent aussi variables que la force chimique elle-même, bien loin d'être la théorie stable et immuable imaginée par Volta.

S'il en était autrement et que la théorie du contact fût vraie, il me paraît qu'il faudrait nier que la cause et l'effet sont équivalents. Le mouvement perpétuel serait vrai aussi dans ce cas, et il ne serait pas difficile, dès qu'on aurait trouvé un exemple bien constaté d'un courant électrique produit par le seul contact, d'obtenir une combinaison électro-magnétique qui, en principe, produirait des effets mécaniques à perpétuité.

Institution royale, 26 *décembre* 1839.

propre action », elle différerait essentiellement de toute autre puissance dans la nature. Toutes les puissances et les sources de mouvement dont nous connaissons la manière d'agir, s'épuisent, quand elles sont en activité, à proportion que leur action est produite. De là l'impossibilité d'obtenir par leur moyen un effet continu; ou, en d'autres termes, un mouvement perpétuel. Mais, la force électromotrice attribuée par Volta aux métaux qui sont en contact, serait une force qui, aussi longtemps qu'on laisserait un libre cours à l'électricité mise en mouvement, ne s'épuiserait jamais, et continuerait avec une force toujours la même, à produire un effet perpétuel. Les probabilités sont toutes contre une supposition de cette nature. »

NOTE ADDITIONNELLE.

Dans une précédente série de recherches, j'ai dit que je ne croyais pas qu'aucune portion de l'électricité d'une pile voltaïque fût due à la combinaison de l'oxide de zinc avec l'acide sulfurique employé, et que j'étais d'accord avec sir H. Davy pour croire que les acides et les alcalis n'émettent pas en se combinant une grande quantité d'électricité, quand ils ne font pas partie d'un électrolyte.

Je voudrais revenir sur cette affirmation, parce que je pense que la pile de Becquerel prouve que l'acide et l'alcali combinés produisent un courant électrique [1].

J'apprends que le docteur Mohr de Coblentz paraît avoir démontré que l'acide nitrique seul parmi les acides peut, en se combinant avec des alcalis, produire un courant [2].

J'avais, sur des données théoriques, fait une exception en faveur des hydracides. J'avais aussi admis que les oxacides pouvaient, quand ils étaient dissous, produire de faibles courants électriques. Jacobi dit que dans la pile perfectionnée de Becquerel, formée avec un acide et un alcali, ce n'est que la treizième partie de la force mise en jeu dans la combinaison qui se développe sous forme de courant. J'ajouterai que, quoique dans la batterie voltaïque, dont la puissance dépend essentiellement de l'oxidation du zinc, je ne croie pas que la *quantité* d'électricité soit affectée par la combinaison de l'oxide avec

[1] Bibl. Univ. 1838, t. XIV, p. 129, 171. Comptes rendus, t. I, p. 455. Ann. de Chimie 1827, t. XXXV, p. 122.

[2] Phil. Mag. 1838, t. XIII, p. 382. Ann. de Poggendorff, t. XLII, p. 76.

l'acide, je n'admets pas néanmoins que cette influence soit entièrement nulle. Les recherches de Mr. Daniell sur la nature des électrolytes composés [1], établissent, entre l'électrolysation d'un sel et celle de l'eau dans laquelle il est dissous, un tel rapport qu'il devient presque certain que, dans le cas correspondant de la formation d'un sel où le courant voltaïque est produit, un rapport semblable doit exister entre l'eau et le sel qui est formé. J'ai peu de doute que l'action réunie de l'eau, des acides et des bases dans la batterie de Becquerel, dans les phénomènes d'électrolysation décrits par Daniell et sur la surface du zinc dans la pile ordinaire agissante, ne soit en principe tout à fait du même genre.

[1] Transactions phil. 1839, p. 97.

DÉCOMPOSITION VOLTAÏQUE DES SOLUTIONS AQUEUSES ET ALCOOLIQUES, par Arthur CONNEL. (*Lond. and Edimb. phil. mag.* avril et mai 1841.)

M'étant occupé à diverses reprises et durant plusieurs années, de recherches sur la nature des changements qui s'opèrent dans diverses solutions sous l'influence voltaïque, et ayant, je crois, obtenu quelques résultats généraux, je me propose de donner ici l'abrégé de ces expériences et des conclusions que j'en ai tirées; les détails que j'omets se trouvent dans les volumes 13 et 14 des *Phil. Transact.* Les objets principaux que je désire passer en revue à présent, sont d'établir une ou deux lois relatives aux décompositions voltaïques secondaires des combinaisons de corps simples, d'expliquer l'état dans lequel les sels haloïdes se trouvent dans les dissolutions, et de donner quelques éclaircissements sur le pouvoir conducteur des solutions.

1° *Solutions aqueuses.* C'est au moyen de son voltaïmètre, que Mr. Faraday a prouvé que, dans plusieurs cas d'action voltaïque sur les solutions aqueuses, les changements produits sur la substance dissoute étaient le résultat, non point de l'action directe du courant électrique, mais bien de l'action secondaire des produits de la décomposition directe de l'eau. Mais cette explication ne peut pas résoudre tous les cas : quelquefois même les résultats sont tout aussi inexplicables par l'idée d'une décomposition primaire du corps dissous, que par celle d'une décomposition secondaire; car ce corps dissous peut souvent aussi bien, en vertu de sa constitution atomique, donner avec l'eau une proportion définie soit d'oxigène soit d'hydrogène; et le non dégagement de l'un ou l'autre de ces éléments à l'un

des pôles peut quelquefois s'expliquer aussi bien en admettant soit que la substance dissoute ne contient pas cet élément, soit que ce dernier provient de l'eau, et qu'il s'est ensuite combiné avec les éléments du corps dissous. Il se présente cependant plusieurs cas dans lesquels, vu la spécialité de la constitution chimique et son accord avec la proportion des gaz dégagés aux deux pôles, l'on est forcé d'admettre une action secondaire. L'acide nitrique, l'acide sulfureux, les acides organiques et l'ammoniaque sont des exemples de ce genre donnés par Faraday.

Aussi, quoique dans des cas pareils Faraday se prononce en faveur d'une telle action, il est si loin de poser comme règle générale que dans tous les cas de solutions d'acides, d'alcalis et d'autres combinaisons primaires des éléments, le corps dissous n'est jamais décomposé directement par l'action voltaïque, qu'il dit nettement que les hydracides sont décomposés d'une manière directe; il penche même à croire que les sels haloïdes sont dans le même cas.

En me servant d'autres méthodes, et quelquefois avec l'aide du principe du voltaïmètre, je crois être parvenu à étendre la règle de l'action secondaire, à tous les cas de solutions aqueuses des combinaisons primaires de corps simples.

La méthode que j'ai suivie le plus ordinairement, consistait à tâcher de séparer quelqu'un des principes constituants du corps dissous (en admettant que ce corps est décomposé directement), et de le montrer sous une forme distincte. La solution, contenue dans un petit tube d'un drachme et demi de capacité, était mise en communication avec un autre tube de même grandeur, plein d'eau distillée, et cela au moyen d'une mèche courte et épaisse d'asbeste, préalablement bien lavée avec de l'acide étendu puis de l'eau distillée, dont on la laissait mouillée lorsqu'on établissait la communication; de plus le niveau de la solution était toujours d'une fraction de ligne plus bas que celui de l'eau distillée.

L'eau était alors mise en communication avec le pôle de la pile vers lequel le principe du corps dissous devrait naturellement se porter, si ce corps était susceptible de décomposition directe; la solution communiquait avec l'autre pôle de la pile. De cette manière le principe constituant devait nécessairement se montrer dans l'eau, soit isolé soit combiné avec l'un ou l'autre des principes de l'eau, combinaison nouvelle qui à son tour pourra subir une décomposition primaire ou secondaire, si on peut l'admettre. L'exemple le plus facile et le plus simple de l'efficacité de cette méthode, consiste à prendre un sel ordinaire, du sulfate de soude par exemple, et trois tubes A, B, C; à mettre la solution de ce sel dans le tube du milieu B, et dans les deux autres de l'eau distillée; puis à faire communiquer l'un des deux derniers C avec le pôle positif, et l'autre A avec le pôle négatif: les principes constituants sont ainsi isolés.

Le premier cas dont nous nous occuperons est celui d'une combinaison binaire simple, n'ayant ni qualités acides ni qualités alcalines, le bromure d'iode. Si l'on mélange une solution aqueuse de bromure d'iode avec une solution d'amidon, puis qu'on la soumette à la pile, l'iode se sépare aussitôt au pôle négatif, et forme avec l'amidon la combinaison bleue ordinaire. Le bromure est donc en apparence réduit à ses principes constituants par le courant de la pile, l'iode allant au pôle négatif, et le brome au pôle positif. Il est pourtant aisé de montrer que cet effet est en entier un effet secondaire. En effet, si l'on ne prend que deux tubes, et que dans l'un B l'on mette le mélange de bromure d'iode et d'amidon, puis dans l'autre A de l'amidon, et qu'on imbibe d'amidon l'asbeste, si ensuite on fait communiquer B avec le pôle positif d'une pile [1] (de 50 couples de 2 pouc. carr.) et A avec le pôle négatif, voici ce qu'on observe. Il se fait aussitôt une effervescence aux deux pôles, mais, après 40

[1] Toutes les piles employées dans ces expériences sont construites d'après le principe de celle de Cruickshank.

minutes d'action, l'on ne voit pas la moindre trace de couleur bleue dans les deux tubes. Si l'on renverse alors les pôles de la pile, après deux minutes environ la combinaison bleue reparaît autour de la lame de platine négative, l'effervescence cesse à ce pôle, mais continue au pôle positif. Si le bromure avait été décomposé directement, l'iode aurait dû être isolé, et la couleur bleue produite dans l'un ou l'autre des tubes avant le renversement des pôles; mais comme ce changement n'a eu lieu qu'après ce renversement, l'effet était dû à l'hydrogène naissant au pôle négatif. Cet hydrogène doit s'être combiné avec le brome si le bromure est simplement dissous, ce qui est le plus probable; ou bien il s'est combiné avec l'oxigène, si tout ou partie du bromure décompose l'eau en formant des acides hydro-bromique et iodique [1]. L'effervescence que l'on voit paraître conduit à la même conclusion. L'oxigène dégagé au pôle positif dans le tube B avant le renversement doit provenir de l'eau, et nécessite le dégagement d'une quantité équivalente d'hydrogène en A, laquelle s'unit avec l'oxigène de l'eau durant le cours de la décomposition en A. Or comme cet hydrogène n'a pas paru lorsqu'on a renversé les pôles, il doit avoir été employé à libérer l'iode.

Le cas à examiner ensuite est celui des oxacides. Si nous voyons le radical d'un tel acide en solution se séparer au pôle négatif et l'oxigène au pôle positif, nous sommes à première vue disposés à supposer que l'acide lui-même a été l'objet d'une décomposition voltaïque directe, et d'après cela on a souvent pensé que le soufre et le phosphore, trouvés dans de telles circonstances, étaient le résultat de la décomposition directe des acides correspondants. De même on pourrait conclure que l'iode qui se sépare instantanément au pôle négatif lorsqu'on

[1] Lorsque les deux pôles sont plongés dans la sólution, et que la pile est fraîchement montée, l'on voit une effervescence aux deux pôles, parce qu'une partie seulement de l'hydrogène est employée à produire l'action secondaire.



opère sur l'acide iodique, est aussi le résultat d'une décomposition primaire ; mais une expérience toute simple montre que l'action est secondaire. Un mélange de solution d'acide iodique et d'amidon fut placé dans le tube B et une solution d'amidon dans le tube A, la communication fut établie avec de l'asbeste imbibé d'amidon, puis B fut fait positif et A négatif au moyen d'une pile de 50 couples de 2 pouces. L'effervescence eut lieu aux deux pôles ; mais après une demi-heure d'action, l'on ne vit plus se former de couleur bleue dans aucun des deux tubes. Les pôles furent alors changés comme précédemment, et, au bout de deux minutes, on vit la matière bleue se former autour de la lame négative dans la solution acide avec peu ou point d'effervescence à ce même pôle, mais il y eut effervescence autour de la lame positive. Ainsi dans la première position de la pile, comme il n'y avait pas de décomposition directe de l'acide, l'iode ne passa point au pôle positif, tandis qu'après le renversement, l'iode parut immédiatement par l'action réductive de l'hydrogène provenant de l'eau décomposée directement. L'analogie de cette expérience peut évidemment s'étendre aux acides sulfurique, phosphorique, et aux autres oxacides.

Le même résultat peut être obtenu au moyen du voltaïmètre. On fit passer un courant voltaïque de même force que les précédents, au travers d'une solution d'acide iodique, puis dans une autre formée d'une partie d'acide sulfurique et de douze parties d'eau. L'iode se sépara sans fluide élastique au pôle négatif de la solution iodique, et aux autres pôles on recueillit les quantités suivantes de gaz.

Pôle négatif de la solution sulfurique . .		33	pouces cubes.
Pôle positif	*id.* *id.* . . .	12	—
Pôle positif de la solution iodique . . .		14	—

Ce résultat ne peut guère s'expliquer que par l'idée de la dé-

composition directe de l'eau, car des quantités semblables d'oxigène ont été dégagées des deux solutions, nonobstant la différence de constitution atomique des deux acides; et tandis qu'une quantité correspondante d'hydrogène a été dégagée de la solution sulfurique, celle de l'eau qui tient en dissolution l'acide iodique n'a pas paru, et a été évidemment employée à réduire l'iode.

De même si l'on fait passer ce courant au travers de l'acide sulfurique et d'une solution d'acide borique, on trouve qu'il se dégage dans le même temps des deux solutions les mêmes quantités relatives d'oxigène et d'hydrogène, malgré la différence dans la constitution atomique des deux acides. Il est donc peu douteux que dans les deux solutions ce soit l'eau et non pas l'acide qui a subi la décomposition.

Passons maintenant aux hydracides. Lorsqu'on opère dans les circonstances ordinaires sur une solution d'acide hydrochlorique ou hydriodique pas trop faible, il se dégage immédiatement du chlore ou de l'iode sans oxigène au pôle positif et de l'hydrogène au pôle négatif. La première idée que l'on conçoit, c'est que l'hydracide est directement décomposé dans ses éléments, et c'est aussi la manière de voir adoptée par Faraday. Il n'est pourtant pas difficile de montrer que la décomposition est secondaire. Pour cela on mit dans le tube A une solution de force moyenne d'acide hydro-chlorique, puis dans le tube B de l'eau distillée; l'asbeste fut humecté d'eau distillée, A rendu négatif et B positif au moyen d'une pile de 50 couples de 2 pouces. Une rapide effervescence eut lieu aux deux pôles, et au bout d'un quart d'heure on trouva dans le tube positif une trace d'acide qui augmenta peu à peu; mais ce ne fut qu'après neuf heures d'action qu'on put découvrir dans ce tube une faible odeur de chlore, même douteuse. Lorsqu'on augmenta le pouvoir conducteur de l'eau dans B au moyen de quelques gouttes d'acide sulfurique, on observa aux deux pôles une effervescence plus vive qu'avant, et pourtant durant dix minutes on ne put reconnaître de chlore ni par l'odeur ni par

les papiers réactifs. Les pôles de la pile furent alors renversés, et avant deux minutes on sentit du chlore en B, et dix minutes après un papier réactif qu'on y plongea, blanchit. On reconnut qu'après le renversement il ne se dégage au pôle positif aucun autre gaz que du chlore. Lorsque la pile était formée de 70 couples de 4 pouces carrés, le liquide du vase B étant de l'eau distillée, on découvrit l'acide au pôle positif au bout de trois ou quatre minutes; mais après une heure d'action l'on ne put observer de changement de couleur dans aucun tube, quoique pourtant l'on sentît à la fin une faible odeur de chlore. Les pôles furent alors changés, et aussitôt une forte odeur de chlore s'éleva et le papier blanchit.

Lorsqu'on mit en A une solution d'acide hydriodique d'une force moyenne et en B de l'eau distillée, que A fut rendu négatif et B positif au moyen d'une pile de 50 couples de 2 pouces, une faible effervescence eut lieu aux deux pôles, et pendant les dix premières minutes on ne vit pas de changement de couleur dans aucun des tubes. Une légère teinte jaune parut alors dans le tube positif, mais rien ne changea visiblement dans le tube négatif, et peu de temps après on put obtenir une réaction acide dans le tube positif. Un quart d'heure après les pôles furent changés, et aussitôt, malgré la diminution de force de la pile, le liquide du tube positif devint brun par l'iode libéré, et cela sans effervescence à ce même pôle. Quand le niveau de la solution hydriodique était d'une ligne environ plus bas que celui de l'eau, on ne vit de changement de couleur dans aucun des tubes, même au bout d'un quart d'heure; mais ce changement eut lieu immédiatement après le renversement. Quand la pile était de 70 couples de 4 pouces, la décoloration se fit en B au bout de cinq minutes, avec la réaction acide. Quand on renversa les pôles, il y eut aussitôt décoloration en B et point de gaz.

Dans ces expériences, il paraît clair que la non apparition du chlore durant un temps si long, puis son apparition soudaine après le renversement des pôles, qui coïncide avec la disparition

de l'oxigène, montrent que son origine secondaire est due à l'action réductive de l'oxigène sur l'acide hydro-chlorique. S'il en a paru à la fin une trace avant le renversement, son origine était évidemment due à l'acide, qui avait été quelque temps avant entraîné du côté positif. Dans le cas de l'acide hydriodique, l'iode était de même dû à l'action réductive de l'oxigène; et s'il a paru avant le renversement plus vite que le chlore, cette circonstance était évidemment due à ce que l'acide hydriodique est une combinaison beaucoup plus faible et plus facile à réduire que l'acide hydro-chlorique. Si même nous supposons que le chlore ou l'iode, en passant au pôle positif par l'action voltaïque directe, réagisse sur l'hydrogène de l'eau dans B, il est clair que l'hydracide ainsi formé aurait été immédiatement décomposé, et que le chlore ou l'iode aurait aussitôt paru libre au pôle, et cela avant l'apparition de l'acide; de là vient que dans le cas de l'acide hydro-chlorique, le chlore n'a paru que longtemps après que l'acide eut passé en B, et beaucoup plus tard que l'iode dans le cas de l'acide hydriodique, quoique les parties constituantes de ce dernier soient moins fortement opposées l'une à l'autre pour leur nature électrique que celles de l'acide hydro-chlorique, et qu'ainsi elles eussent dû raisonnablement être plus difficiles à décomposer. La quantité de chlore ou d'iode qui apparaît, n'est pas en rapport avec la quantité absolue d'acide qui passe, mais bien avec la facilité que cet acide a de se réduire. L'idée de la décomposition secondaire de l'hydracide donne donc une explication très-naturelle de tout le phénomène.

L'expérience de l'acide hydriodique a été variée en prenant les trois tubes, et en remplissant B et C d'eau distillée, et A de solution hydriodique; la pile était celle de 70 couples de 4 pouces. On vit une légère effervescence aux deux pôles; mais après 40 min. d'action, on ne vit pas de changement de couleur dans aucun des tubes. Peu de temps après, une teinte brune parut en C avec la réaction acide au pôle positif. Dix minutes après, les

pôles furent changés, et l'iode parut aussitôt en A sans gaz. Tous ces faits sont complétement en accord avec les vues qui ont été exposées plus haut.

Relativement aux oxides métalliques, il n'est pas facile d'obtenir dirèctement une telle évidence expérimentale, parce que les métaux de ceux qui sont solubles dans l'eau réagissent sur le dissolvant; mais nous pouvons examiner la décomposition des oxides métalliques contenus dans les sels doubles, parce que ici souvent le métal paraît au pôle négatif, comme pour éclaircir l'action sur les solutions des oxides qui sont dissous par l'eau pure. On admet maintenant assez en général, que lorsqu'un métal paraît au pôle négatif dans les solutions de sels métalliques, cela provient de l'action réductive de l'hydrogène naissant; et j'ai vérifié directement cette opinion, en trouvant que lorsque l'on rend positives, au moyen d'une pile de 50 couples de deux pouces, des solutions de sulfate de cuivre, d'hydrochlorate de zinc ou de nitrate d'argent, si on les fait communiquer par de l'asbeste avec l'eau rendue négative, ni le métal ni l'oxide n'est transporté au pôle négatif durant une demi-heure d'action, tandis qu'en renversant les pôles, la lame devenue maintenant négative se recouvre plus ou moins du métal réduit au bout d'un quart d'heure. Ainsi la circonstance que dans un des cas l'hydrogène naissant a été produit dans la solution métallique, et dans l'autre au milieu de l'eau distillée, a été évidemment la cause de la différence du résultat.—L'expérience avec l'hydro-chlorate de zinc et le nitrate d'argent fut variée en plaçant la solution dans un tube courbé et en versant dessus de l'eau distillée; le fil négatif était plongé alternativement dans l'eau et dans la solution. Les résultats obtenus avant et après le renversement des pôles furent les mêmes que dans les expériences avec l'asbeste; la seule différence que l'on observa fut que dans l'expérience avec la solution de zinc, un peu d'oxide de zinc parut se déposer à la limite de séparation entre l'eau et la solution.

Je n'ignore pas la circonstance mentionnée par Davy, que l'asbeste dans l'expérience du nitrate d'argent se recouvre d'un léger réseau d'argent, l'eau étant du côté négatif; mais sans mettre un instant en doute l'exactitude du fait, je n'hésite pas à conclure, par la considération de mes propres résultats, que l'argent provient, dans ce cas unique, d'une réduction par l'action secondaire soit de la lumière, soit de l'hydrogène dégagé dans le liquide négatif par l'effet de la puissante pile employée dans ce cas.

Je pensai qu'un pôle négatif de tellure dans la solution métallique pourrait bien, en se combinant avec l'hydrogène, empêcher la formation du métal à ce pôle; mais je trouvai que le cuivre et le zinc se déposaient même dans ces circonstances, ce qui montre que l'hydrogène naissant, là où le métal tenu en solution est facilement réductible, s'unit plutôt avec son oxigène qu'avec le métal.

Quant aux sels haloïdes, j'essayerai plus tard de montrer qu'ils ne sont pas dissous par l'eau à cet état, mais bien comme sels d'hydracides. Je dirai cependant qu'une preuve du même genre que celle que j'ai détaillée pour les hydracides a été obtenue relativement aux solutions de chlorure de potassium et d'iodure de potassium, preuve qui montre que le chlore et l'iode qui paraissent sous l'influence voltaïque sont d'origine secondaire.

Voici, du reste, une expérience très-simple et d'une nature différente qui conduit à la même conclusion. Si l'on prend une solution aqueuse d'iodure de potassium, en se servant de zinc pour pôle positif, et d'une pile de 50 couples de 2 pouces, au lieu d'iode séparé à ce pôle comme c'est le cas lorsqu'il est de platine, il se fait un rapide et abondant dépôt d'oxide de zinc au pôle *positif* avec une ou deux bulles seulement de gaz, tandis qu'il se fait une vive effervescence au pôle négatif. Ces faits ne peuvent s'expliquer que par l'idée d'une origine secondaire pour l'iode, et sont conformes à l'opinion qu'il y a décomposition de l'eau, dont l'oxigène se combine avec le zinc

quand le pôle est formé de ce métal, ou avec l'hydrogène de l'acide du sel quand on se sert de platine. Avec les chlorures de potassium et de calcium, il y eut aussi un dépôt d'oxide de zinc au pôle positif, et quelquefois une partie de l'oxide de zinc fut prise par l'acide du sel hydracide, et transportée au pôle négatif.

Je pense que l'on a examiné un nombre de cas suffisant pour garantir la conclusion générale « que lorsque des solutions aqueuses de combinaisons primaires de corps élémentaires sont soumises à l'action voltaïque, le corps dissous n'est pas décomposé par le courant, mais seulement le dissolvant. » La loi n'embrasse naturellement pas les combinaisons du second ordre, telles que les oxy-sels, qui, comme chacun le sait, sont réduits par l'action voltaïque en leurs constituants acide et alcali.

2° *Solutions alcooliques*. Je me contenterai de renvoyer soit aux expériences par lesquelles j'ai montré que, sous l'influence de la pile, l'eau qui entre dans la constitution de l'alcool absolu est décomposée en ses éléments, l'hydrogène étant dégagé au pôle négatif, et l'oxigène étant employé à produire des effets secondaires sur l'hydro-carbure de l'alcool; soit à celles qui démontrent l'effet remarquable qu'exerce sur cette action la solution des plus faibles quantités d'alcalis, d'acides ou de sels [1].

Ce fait que l'eau de l'alcool absolu subit une décomposition sous l'influence de la pile, fournit la clef pour résoudre tous les cas de décomposition voltaïque des solutions alcooliques, en les assimilant à ce qui a lieu dans les solutions aqueuses. L'analogie entre les deux cas est complète, avec cette seule différence, que dans le premier les apparences sont moins marquées à cause de la petite quantité d'eau présente, de l'infériorité du pouvoir conducteur de la solution, et des légères modifications d'action secondaire dues à la présence de

[1] Voyez le *Lond. and Edimb. phil. mag.*, décembre 1840.

l'hydro-carbure. En un mot, pour ce qui est relatif à l'action voltaïque, une solution alcoolique peut être regardée comme une solution aqueuse, dans laquelle se trouve une substance étrangère qui retarde l'action principale, tout en créant une source additionnelle d'action secondaire.

D'après cela, lorsqu'on opère sur la solution alcoolique d'un sel ordinaire, l'acide et l'alcali vont à leur pôle respectif comme dans une solution aqueuse, mais beaucoup plus lentement, et l'hydrogène de l'eau de l'alcool se dégage au pôle négatif, tandis que l'oxigène entre en combinaison secondaire. Si la base est facile à réduire, le métal réduit par l'hydrogène paraît au pôle négatif ; quelle que soit la substance dissoute, si elle n'est pas de nature à permettre une action secondaire avec l'hydrogène, cet élément se dégage en même proportion que s'il venait de l'eau ; il faut, comme nous l'avons dit, avoir égard aux diverses circonstances qui sont liées avec le pouvoir conducteur de la solution. Ce fait a été vérifié pour les solutions alcooliques des alcalis, des sels haloïdes et des oxy-sels.

L'on a aussi trouvé, par des expériences semblables à celles des solutions aqueuses des sels hydracides et haloïdes, que lorsque l'iode paraît au pôle positif dans les solutions alcooliques d'acide hydriodique ou d'iodures, il provient d'une action secondaire. On prépara de l'alcool absolu saturé de gaz acide hydriodique sec ; on prit, comme avant, trois petits tubes : dans l'un A on mit cette solution, puis dans B et C de l'eau ; on rendit A négatif et C positif au moyen d'une pile de 70 couples de 4 pouces. Il se fit bientôt une effervescence aux deux pôles ; mais on n'observa nulle part de changement de couleur, ni d'acide en B ou en C, qu'après un intervalle de vingt minutes ; ce ne fut qu'alors que commença en C, avec une réaction acide, une légère coloration brune par l'iode mis en liberté. Au bout d'une demi-heure les pôles furent changés, et alors la solution hydriodique fut instantanément décolorée sans que ce pôle dégageât du gaz, tandis qu'à l'autre on vit une effervescence.

Cette expérience aurait eu naturellement plus d'analogie avec celles qui avaient été faites sur l'eau, si B et C avaient contenu de l'alcool ; mais le faible pouvoir conducteur de ce liquide, et la chance d'introduire un obstacle aux réactions si quelque substance s'y dissolvait, empêchèrent de s'en servir dans ce cas. Les apparences sont pourtant très-bien expliquées par l'idée que l'eau de l'alcool seule subit la décomposition directe.

Des expériences analogues faites sur les iodures ont conduit à la même conséquence.

Les apparences obtenues avec un pôle positif de zinc conduisent à la même conclusion. Si l'on opère avec une pile de 50 couples de deux pouces sur une solution saturée d'iodure de potassium sec dans l'alcool absolu, et qu'on mette celle-ci dans un tube courbé en U, l'oxide de zinc se sépare aux deux pôles, sans apparence d'iode, ni effervescence au pôle positif. Le dépôt d'oxide de zinc à ce pôle est conforme à l'idée de la décomposition directe de l'eau.

Avec une solution semblable de chlorure de lithium sec, il se déposa de l'oxide de zinc au pôle négatif, avec effervescence au même pôle, mais point au pôle positif. Il fut incertain s'il se fit au pôle positif aucune séparation d'oxide, mais il est bien probable que l'oxide provenait, comme dans le cas de l'iodure de potassium, de l'action de l'oxigène contenu dans l'eau de l'alcool sur le zinc, et qu'il a été ensuite dissous et transporté au pôle négatif.

La condition principale du dépôt d'oxide de zinc au pôle positif, dans les solutions soit aqueuses soit alcooliques, paraît être une formation assez rapide par une action vive ; moins l'acide est fort et moins il y en a d'entraîné au pôle positif, plus il y a d'oxide séparé avant la dissolution et le transport.

Relativement aux solutions pyroxyliques, je n'ai fait qu'un petit nombre d'expériences, parce que, si la règle générale est vraie relativement à l'alcool, l'on ne peut guère douter qu'elle s'appliquera aussi à l'esprit pyroxylique, puisque la décompo-

sition de l'eau qu'il contient est, comme je l'ai montré, beaucoup plus facile à effectuer que celle de l'alcool. J'ai trouvé expérimentalement que, si l'on place dans un tube A une solution d'iodure de potassium sec dans l'esprit pyroxylique et de l'eau dans le tube B, si l'on fait communiquer ces deux tubes par de l'asbeste, puis si l'on rend A négatif et B positif au moyen d'une pile de 50 couples de deux pouces, quoique l'iode paraisse autour du pôle positif en B, il est cependant accompagné par de l'acide qui passe dans l'eau de B; et après 40 minutes d'action ces apparences continuèrent de même, seulement plus décidées, et sans aucune apparence d'iode ailleurs. Il est bien probable que la nature de l'action a été absolument la même que dans les solutions aqueuses et alcooliques.

Dans toutes ces circonstances, quoique l'évidence ne puisse pas être d'un caractère aussi décidé dans quelques cas de solutions alcooliques que dans ceux des solutions aqueuses, je crois cependant qu'on peut, sans beaucoup d'hésitation, établir la proposition suivante comme encore plus générale que la première : « Lorsque l'on soumet au courant voltaïque des solutions de combinaisons primaires des corps élémentaires, faites dans l'eau, l'alcool ou l'esprit pyroxylique, substances qui toutes contiennent de l'eau comme principe constituant, le corps dissous n'est pas décomposé directement par le courant, l'eau seule du dissolvant est décomposée. »

3° *Solutions éthérées*. L'éther rectifié ne donne aucun symptôme de décomposition, ni de pouvoir conducteur, même sous l'influence de courants puissants, tels que ceux de 200 couples de 4 p. c.; et quoique $\frac{1}{10000}$ de potasse ait une influence marquée pour aider la décomposition voltaïque de l'alcool, la quantité la plus forte de cet alcali que l'éther puisse dissoudre, n'a aucun effet pour faciliter l'action voltaïque. Les substances ordinaires solubles dans l'éther, telles que le sublimé corrosif, le chlorure de platine, ou l'acide chromique, ne produisent

aucun effet. Un oxy-sel, tel que le nitrate d'urane, tenu en dissolution par l'éther, n'est pas décomposé sous l'influence de la pile. La conclusion à tirer de toutes ces expériences, c'est que l'éther ne contient pas d'eau pour principe constituant, comme l'alcool [1].

Ainsi jusque-là l'éther et les solutions éthérées résistent à toute action voltaïque. Cependant j'ai trouvé depuis, que si l'on sature de gaz acide hydro-chlorique sec l'éther rectifié, puis qu'on le soumette à une action galvanique modérée, il se dégage au pôle négatif de l'hydrogène qui retient un peu de vapeur éthérée mélangée avec lui, et qu'au pôle positif il ne se dégage point de gaz, mais que le liquide prend une couleur jaune à cause du chlore dissous.

Si, au moyen d'un petit appareil de Wolf, on fait passer de l'acide hydriodique sec dans de l'éther, le liquide se sépare aussitôt en deux couches, l'une inférieure d'un rouge intense, l'autre supérieure légèrement colorée, et celle-ci donne du gaz au pôle négatif sous l'action voltaïque.

Quant à la dernière de ces expériences, il n'y a pas de doute qu'en saturant l'éther de gaz acide hydriodique, il ne se fasse une décomposition ; et quoique la nature de cette décomposition n'ait pas été examinée en entier, il semble probable que le liquide inférieur était formé principalement d'acide hydriodique ioduré, résultant de la combinaison de l'oxigène de l'éther avec l'hydrogène d'une portion de l'acide hydriodique, et d'après cette idée il se forme de l'eau qui devient l'objet d'une action voltaïque subséquente. Durant la saturation de l'éther par l'acide hydro-chlorique, on ne voit aucun signe de décomposition ; cependant il n'est pas impossible que quelques changements intérieurs aient eu lieu, et que l'eau provenant de l'action s'unisse à l'acide hydro-chlorique. A moins qu'une telle idée ne fût adoptée, je serais disposé à croire qu'il s'est

[1] Voyez *Edimb. transactions*, vol. XIII, p. 331.

opéré par l'effet du courant voltaïque une décomposition directe de l'acide hydro-chlorique; mais quand je me rappelle que l'éther pur résiste à des courants voltaïques très-puissants, et même que la potasse, qui aide si remarquablement la décomposition galvanique de l'eau dans l'alcool absolu, ne rend pas l'éther plus facile à décomposer, je ne peux guère supposer que dans le cas de la solution éthérée d'un hydracide, la décomposition provienne de celle de l'eau qui entre dans la constitution de l'éther; mais je conserve ma première idée, que l'éther ne contient pas d'eau, et que l'alcool est formé d'éther et d'eau.

4° *Sur l'état dans lequel les sels haloïdes sont dissous par l'eau et l'alcool.* La question de savoir si les sels haloïdes sont dissous par l'eau comme tels, ou s'ils la décomposent et prennent l'état de sels hydracides, est un point sur lequel les chimistes sont encore divisés. L'action de l'électricité voltaïque sur de telles solutions me semble décider la question. Durant cette action il est souvent difficile, surtout dans le cas des iodures, d'observer une réaction acide au pôle positif, lorsque les deux pôles sont directement plongés dans la solution, et cela à cause de l'action réductive qu'exerce l'oxigène sur l'acide formé : dans les cas mêmes où l'on observe l'acide, cette circonstance ne prouve pas d'elle-même que le sel haloïde soit dissous à l'état d'hydracide, vu que l'on peut admettre que l'acide est formé par une cause secondaire au pôle négatif, d'où il est entraîné au positif. Ce n'est que de cette manière que l'on peut expliquer la séparation du métal réduit au pôle négatif, d'après l'hypothèse de la solution du sel haloïde et de la décomposition directe de l'eau seule. Il peut aussi se faire que la réaction acide provienne d'un oxacide formé par une action secondaire au pôle positif. Toutes les objections sont pourtant levées si on place les pôles en dehors de la solution, de manière à se débarrasser des actions secondaires ; et si, dans de telles circonstances, l'on peut démontrer que l'acide et la base vont à leur pôle respectif, et que cet acide est un hydracide, nous aurons,

je pense, une preuve suffisante que le sel a été dissous à l'état de sel hydracide. Mais laissons de côté, pour un moment, les expériences par lesquelles j'ai tâché de démontrer que les sels haloïdes, s'il en existe à cet état dans l'eau, ne sont pas décomposés directement; exposons les différentes idées qui se présentent d'elles-mêmes sur la nature de l'action galvanique, lorsque les deux pôles sont plongés dans la solution de la manière ordinaire, et considérons-les dans la supposition que les haloïdes sont dissous comme tels. D'abord supposons que l'une ou l'autre des deux substances, eau ou haloïde, n'importe laquelle, est décomposée : il est évident que nous ne pouvons expliquer la production de l'acide, si l'on exclut l'action secondaire. Supposons ensuite que les deux substances sont décomposées, et que ou bien les éléments allant au même pôle s'unissent dans leur course, ou bien que par un échange d'éléments l'oxigène s'unit avec le métal de l'haloïde, et l'hydrogène de l'eau avec le principe électro-négatif de l'haloïde. La première de ces alternatives est contredite par le fait que l'acide formé est un hydracide, et la dernière, quoiqu'elle puisse expliquer la formation de l'acide et de l'alcali, ne rendrait pas compte du dégagement du principe électro-négatif de l'haloïde au pôle positif, et de l'hydrogène en proportion fixe et définie au pôle négatif, quelle que soit la force de la solution. Il me paraît donc suffisant, pour prouver que la solution d'un sel haloïde est un sel hydracide, de montrer la séparation de l'hydracide sous l'influence de la pile, dans des circonstances qui excluent l'action secondaire.

Pour démontrer ce résultat on prit trois tubes : la solution fut placée dans le tube B, et de l'eau distillée dans A et C; A fut rendu négatif et C positif. Lorsqu'on traita ainsi par une pile de 50 couples de 2 pouces des solutions de chlorure de potassium ou de calcium, ou l'iodure de potassium, l'acide et l'alcali furent aussitôt reconnus à leur pôle respectif en C et A, ainsi que vers les côtés correspondants du vase B, et ils conti-

nuèrent à augmenter durant toute l'action. L'acide recueilli en C dans le cas des chlorides était de l'acide hydro-chlorique. Dans le cas de l'iodure la nature de l'acide était un peu ambiguë quand on employait la même force que ci-dessus; mais avec une pile de 70 couples de 4 pouces, c'était décidément de l'acide iodique. Il est pourtant très-probable que ce dernier acide provenait d'une action oxidante agissant au pôle positif sur l'acide hydriodique réduit, et cette manière de voir fut confirmée en prenant quatre tubes; on mit le tube B, renfermant la solution d'iodure de potassium, en communication avec les deux autres C et D pleins d'eau distillée et placés du côté positif; on employa une pile de 70 couples de 4 pouces : l'acide produit en C fut l'acide hydriodique, et en D de l'acide iodique; en d'autres termes, l'acide séparé du vase B est l'acide hydriodique, mais en passant aux pôles il est réduit et l'iode oxidé; ainsi dans le cas des chlorures et des iodures, l'acide séparé est un hydracide.

Il faut cependant toujours se rappeler que, quoiqu'une telle production puisse être facilement démontrée dans plusieurs cas de sels haloïdes, il ne s'ensuit pas que cela aurait lieu dans tous les cas. Nous sommes donc prêts à l'admettre dans le cas des haloïdes dont les principes constituants ont une très-forte affinité pour l'oxigène et l'hydrogène, tels que les haloïdes ordinaires des bases, des alcalis et des terres alcalines, et d'après cela j'ai montré qu'elle s'appliquait aux chlorures et aux iodures de potassium et de calcium. Mais, de plus, on a trouvé qu'elle s'applique aussi aux haloïdes ordinaires des métaux communs, tels que le zinc. Je m'attendais pourtant à trouver du doute à l'égard des métaux nobles. Pour cela l'on prit trois tubes; dans B l'on mit une solution moyennement forte de chlorure d'or, dans A et C de l'eau distillée, en rendant A négatif et C positif au moyen d'une force de 50 couples de 2 pouces : l'on n'obtint pas de signes certains de la formation d'un acide après une action d'une heure, car quoique vers la fin il

y eût au pôle positif une légère réaction acide, elle n'était pas supérieure à celle que donnerait l'eau distillée elle-même, et il n'y eut pas de trace d'alcali au pôle négatif. Mais avant de décider que le chlorure d'or en solution ne cède pas à l'action voltaïque, il serait nécessaire de répéter l'expérience avec un courant plus puissant. Dans ces cas la constitution atomique peut aussi avoir une influence très-grande, si ce n'est pas la principale.

Puisque nous avons obtenu un exemple décidé de formation d'acide dans les circonstanees détaillées ci-dessus, nous pouvons conclure, avec toute probabilité, que tous les haloïdes de la même nature et de la même constitution atomique sont dans le même cas. Ayant ainsi vérifié la règle pour le chlorure de zinc, nous pouvons conclure que tous les protochlorures de métaux plus électro-positifs, tels que ceux de manganèse, de cérium, magnésium, barium, potassium, etc., sont dissous à l'état d'hydro-chlorates. D'un autre côté, pour toute la série de métaux doués d'affinités moins fortes, aussi bien que pour tous les haloïdes d'une constitution atomique plus complexe, le sujet a besoin d'être examiné de nouveau, et je me propose de faire de nouvelles recherches.

Relativement au sel ammoniac, j'ai reconnu qu'il est réduit en acide et alcali dans les circonstances ci-dessus, et ce résultat montre qu'en solution du moins il se trouve être de l'hydrochlorate d'ammoniaque, et ne peut pas être regardé justement comme chlorure d'ammonium. Le même raisonnement que l'on a appliqué aux haloïdes ordinaires, peut facilement être étendu au chlorure d'ammonium hypothétique, et pour compléter l'évidence sur ce point, j'ai trouvé qu'une solution d'hydro-chlorate d'ammoniaque dégageait la quantité définie d'hydrogène au pôle négatif.

Les expériences avec un pôle positif en zinc conduisent au même résultat, au moins lorsqu'elles sont mises en rapport avec celles qui montrent que les sels haloïdes, regardés comme

tels en solution, ne sont pas directement décomposés. L'oxide de zinc, qui est dissous et transporté, doit avoir été pris par l'acide, qui a été entraîné auparavant au pôle positif.

L'analogie de l'action qui se passe, comme on l'a vu, lorsqu'un pôle positif en zinc plonge dans les solutions alcooliques des sels haloïdes, conduit par un raisonnement semblable à l'idée que, dans des solutions d'une force moyenne, telles que celle de chlorure de lithium, iodure de potassium, ainsi que les solutions alcooliques médiocrement saturées de chlorure de calcium, le sel haloïde décompose l'eau de l'alcool, et se trouve dans la solution à l'état d'oxy-sel. Plusieurs phénomènes de l'action voltaïque sur de telles solutions recevront ainsi une explication plus facile que si l'on suppose que les sels sont dissous à l'état d'haloïdes; tel est celui de l'apparition des alcalis et des terres au pôle négatif, qui est directement due à la décomposition d'un hydracide, et non à l'action secondaire de l'hydrogène et à la réaction du métal sur l'eau.

On ne peut pas facilement obtenir la même évidence sur ce sujet par la méthode employée pour les solutions aqueuses, de placer les pôles dans l'eau en dehors de la solution, car l'infériorité du pouvoir conducteur de la solution alcoolique fait qu'il se sépare beaucoup moins d'acide, si même il en existe dans le liquide, et l'on ne peut guère distinguer s'il ne vient pas du point de jonction de la solution alcoolique avec l'eau dans laquelle les pôles sont placés.

Si l'alcool dissout les sels haloïdes à l'état de sels hydracides, il n'y a aucun doute que l'esprit pyroxylique n'agisse de même, et je suis porté à croire que la supériorité du pouvoir dissolvant de ce dernier liquide, relativement à quelques substances telles que la baryte, provient de ce que la quantité d'eau y est plus forte, quoique la proportion atomique n'en soit pas plus grande.

5° *Sur le pouvoir conducteur des solutions.* Quoiqu'on ne puisse pas établir que le pouvoir conducteur additionnel com-

muniqué à l'eau par les substances qui y sont dissoutes soit exactement proportionnel au degré de changement chimique qui résulte du corps dissous sous l'influence de la pile, cependant il semble que, dans chaque cas où la conductibilité augmente, il se passe quelque changement chimique, ou du moins quelque transport voltaïque, en accord avec l'accroissement de conductibilité.

Dans le cas des sels, la séparation voltaïque de l'acide et de l'alcali explique en même temps le résultat, et, dans plusieurs de ces cas, nous avons à l'un des pôles ou à tous deux un effet additionnel par action secondaire.

Comme on le sait, et comme je l'ai moi-même vérifié expérimentalement pour l'acide sulfurique et pour les hydracides, les acides seuls en solution subissent un transport à leur propre pôle, circonstance qui paraît être la principale cause de leur augmentation de conductibilité. Dans quelques exemples l'action secondaire au pôle contribue aussi au résultat.

Pour déterminer si les alcalis ont une action semblable en subissant le transport, on prit trois tubes : dans l'un B on mit une solution de potasse caustique, dans les deux autres on mit de l'eau distillée ; l'asbeste de chacun fut aussi humecté d'eau distillée ; A fut rendu négatif et C positif au moyen d'une pile de 72 couples de 4 pouces. Tous les tubes furent couverts d'un verre, et un morceau de papier de curcuma fut introduit dans les liquides A et C entre l'asbeste et les pôles. Dans peu de minutes on vit de l'alcali au pôle négatif, et il augmenta durant une demi-heure, tandis que le papier réactif placé en C ne changea point de couleur, ce qui montre que l'effet obtenu en A n'est pas dû à l'action capillaire. L'expérience fut ensuite arrêtée, lorsque l'eau en A, quoique non alcaline au papier, le devint par la concentration, tandis qu'en C il ne parut aucun alcali même après la concentration.

Dans les expériences déjà détaillées, dans lesquelles l'acide et l'alcali ont été séparément entraînés aux pôles dans l'eau

distillée, l'alcali atteignit ordinairement le pôle aussi vite que l'acide.

Il est donc hors de doute que par l'action voltaïque l'alcali dans une solution aqueuse est transporté au pôle négatif.

L'eau colorée par le brome donne sensiblement plus d'effervescence sous l'action galvanique, et montre ainsi la supériorité du pouvoir conducteur de la solution.

La manière dont la présence des substances simples augmente le pouvoir conducteur de l'eau, demande quelques recherches. Le chlore, le brome et l'iode sont généralement regardés comme non conducteurs; peut-être existe-t-il quelque doute à cet égard sur l'iode à l'état de fusion, mais il est à peine possible que la petite quantité qui s'en trouve dans une solution aqueuse puisse agir par l'effet de sa conductibilité propre.

Pour déterminer si de telles substances sont susceptibles de transport dans la solution, une solution aqueuse de brome, mêlée d'un peu d'iode non dissous pour maintenir l'état de saturation, fut placée dans le tube B, le reste de l'arrangement étant le même que dans la dernière expérience avec la solution de potasse; et après une heure d'action d'une pile de 72 couples de 4 pouces, on ne put observer aucun changement de couleur par le transport du brome, ni dans le tube A ni dans le tube C; le dernier seulement eut une odeur de brome à peine perceptible et due, je crois, à la décomposition secondaire d'une trace d'acide hydro-bromique entraîné en C, car les deux liquides B et C donnaient quelques signes de réaction acide.

Une solution aqueuse d'iode fut alors substituée au brome en B, en laissant aussi un peu d'iode au fond, et en opérant du reste dans les mêmes circonstances; la pile fut rechargée. Après une heure d'action il n'y eut pas d'apparition d'iode ni en A ni en C.

D'après ces expériences, il est clair qu'aucune de ces substances n'est transportée en solution par l'action voltaïque.

Nous devons donc chercher quelque autre explication de l'augmentation du pouvoir conducteur; et celle qui se présente naturellement, c'est une action secondaire au pôle négatif, par l'union de l'hydrogène avec la substance dissoute. Pour déterminer la justesse de cette idée, on fit passer en même temps le courant d'une pile de 50 couples de 2 pouces dans une solution de brome et dans de l'acide sulfurique étendu, on recueillit l'hydrogène dégagé aux deux pôles négatifs : au bout d'une demi-heure on recueillit 13 pouces cubes dans la solution sulfurique, et seulement une bulle de la grosseur d'un pois dans la solution de brome; l'hydrogène qui manquait dans cette dernière dissolution s'était donc évidemment combiné avec le brome.

En remplaçant la solution de brome par une solution d'iode (purifié par sublimation, dissous dans l'alcool et précipité par l'eau), l'action fut beaucoup plus faible. Au bout d'un quart d'heure on ne put recueillir qu'une petite bulle de gaz à chaque pôle négatif, et au bout de deux heures et un quart on obtint un pouce cube dans la solution sulfurique et 0,77 dans la solution d'iode.

Il est ainsi évident que dans le cas du brome et de l'iode l'action est augmentée par la combinaison de la substance dissoute avec l'hydrogène de l'eau décomposée; mais cette circonstance, comme on doit s'y attendre, exerce beaucoup plus d'influence dans le cas du brome que dans celui de l'iode [1].

En réunissant les lois qui règlent la décomposition voltaïque des solutions et le transport des substances tenues en solution, on observe qu'aucune substance ne subit de décomposition vol-

[1] Longtemps après que ces expériences ont été faites, et que les conclusions en ont été tirées, j'ai su que Mr. Becquerel avait aussi trouvé que le brome et l'iode en solution s'unissent avec l'hydrogène sous l'influence de la pile.

taïque directe, lorsqu'elle se trouve en état de transport. Les acides et les alcalis subissent le transport, mais non la décomposition directe. D'un autre côté, les sels, soit oxidables, soit hydracides, ne sont pas transportés, mais bien réduits dans leurs constituants acide et alcali.

Nous ne pouvons pourtant pas dire que toute substance qui n'est pas transportée, soit décomposée directement. Ainsi nous pouvons difficilement mettre en doute que des composés tels que ceux de brome et d'iode ne subissent pas de transport voltaïque, en voyant que leurs éléments constituants ne sont pas transportés; et cependant nous avons vu de plus que cette combinaison n'est pas décomposée directement dans la solution. Probablement aussi qu'il existe quelques cas de chlorures, pour lesquels, à cause de la spécialité de la constitution atomique ou d'autres circonstances, il n'y a ni transport ni décomposition directe.

DE LA DISTANCE EXPLOSIVE DE LA BATTERIE ÉLECTRIQUE, par Pierre Riess. (*Annal. der Phys. und Chem.*, vol. LIII, nº 5 de 1841.)

La décharge de la batterie électrique s'opère ordinairement comme suit : pendant qu'une des extrémités de l'axe conducteur est appuyée contre l'armure extérieure de la batterie, on cherche à mettre l'autre en contact avec l'armure intérieure ou avec sa prolongation métallique. Mais avant que le contact ait lieu, il éclate une étincelle entre les surfaces métalliques rapprochées, et la plus grande partie de la charge de la batterie s'échappe ainsi ; or, la distance à laquelle les surfaces sont l'une de l'autre au moment où l'étincelle se montre, s'appelle la *distance explosive* [1] de la batterie.

Comme la batterie n'est pas entièrement déchargée par le conducteur qui se trouve à la distance explosive, il faut, lorsqu'on approche davantage ce conducteur de l'armure intérieure, qu'il se trouve une deuxième distance à laquelle s'opère une décharge, et par conséquent on doit pouvoir indiquer une deuxième, puis une troisième distance, à laquelle l'extrémité de l'arc conjonctif reçoit une étincelle de la charge restante de la batterie. Ne nous occupons pas pour le moment de ces décharges subséquentes, et n'appliquons l'expression de distance explosive qu'à la première, qui est celle en même temps qui a le plus d'importance.

J'ai déjà fait voir ailleurs, d'après mes propres expériences,

[1] Nous n'avons pas trouvé une autre expression qui pût rendre mieux le mot allemand *Schlagweite* employé par l'auteur. (R.)

que la distance explosive de la batterie est proportionnelle à la densité de l'électricité accumulée, et qu'elle dépend en même temps de la forme des surfaces entre lesquelles éclate l'étincelle. Désignons par d la distance explosive, par q la quantité d'électricité, par s la grandeur de la surface sur laquelle cette électricité est accumulée ; on a l'équation :

$$d = b \frac{q}{s}$$

dans laquelle b désigne la distance explosive pour la charge qu'on a prise comme unité. Cette constante b varie avec la forme et la position relative des deux surfaces métalliques entre lesquelles éclate l'étincelle, ce qui fait voir la nécessité de ne jamais fixer cette position avec la main, mais avec l'aide d'un appareil mécanique, si l'on veut être sûr du résultat d'une expérience faite avec la batterie.

La distance explosive est nécessairement liée avec la décharge électrique, et dépend de la charge de la batterie suivant des lois fixes, de façon que rien n'autorise à la restreindre ou à la modifier artificiellement. On s'est donc trompé quand on a cru rendre plus régulière la décharge de la batterie en posant, sur la prolongation de l'armure intérieure, une plaque mince de verre qui devait être brisée avant la décharge par la chute d'un morceau de l'arc conjonctif, procédé dont les suites fâcheuses ne se sont pas fait attendre.

Ce peu d'observations suffisent pour faire connaître ce que c'est que la distance explosive, en tant qu'elle est prise en considération dans les effets de la batterie. Mais le phénomène en lui-même offre un autre intérêt qui n'est pas sans importance ; j'ai essayé de l'étudier avec soin, ce qui n'avait point encore été fait jusqu'à présent : tel est le sujet des pages qui suivent.

L'attention des observateurs a été dès longtemps attirée sur les phénomènes qui accompagnent la décharge de la batterie

et qui paraissent être liés à la distance explosive, c'est-à-dire sur l'étincelle de décharge et le bruit qu'elle produit. Il n'en est aucun qui n'ait remarqué que l'éclat de l'étincelle et l'intensité du bruit, en supposant parfaitement semblables les surfaces terminales entre lesquelles brille l'étincelle, varient soit avec la densité de l'électricité de la batterie, soit avec la nature de l'arc de jonction. La première de ces influences a été démontrée par Lane et Volta ; quant à la seconde, on n'a fait jusqu'à présent aucune détermination exacte, ou qui du moins le soit suffisamment. Je ne sache pas qu'on puisse citer d'autres expériences que celles de Heller, qui déchargea une bouteille de Leyde, au moyen d'un arc qui était ou entièrement métallique ou interrompu par une bande de papier humectée d'eau [1]. Dans le premier cas, il dit avoir obtenu une étincelle blanche, longue et pétillante ; dans le second, une étincelle rouge, petite, donnant un bruit sourd, et il croit avoir remarqué que la longueur de l'étincelle diminue à mesure que celle de la bande de papier devient plus considérable. Cette assertion, qu'il énonce seulement en passant, en ce qui concerne la longueur de l'étincelle, a été fréquemment répétée depuis, et c'est elle vraisemblablement qui a conduit à la loi générale qu'on trouve dans la dernière édition du Dictionnaire de physique de Gehler [2], et que voici : La distance à laquelle la décharge de la batterie a lieu y est exprimée par la formule $\frac{T}{L}$, dans laquelle T désigne la tension libre de l'armure intérieure, L la résistance de conductibilité dans toute l'étendue de l'arc de jonction entre l'une et l'autre armure. On verra, d'après les expériences suivantes, que ni cette assertion, ni même l'assertion plus particulière de Heller, ne sont fondées sur des faits réels.

J'ai réuni, par un fil de cuivre de 1 $\frac{1}{2}$ pied de long et $\frac{1}{4}$ de

[1] *Gilbert's Annal.*, t. VI, p. 249.
[2] Tome VIII, p. 529.

ligne d'épaisseur, l'armure intérieure d'une batterie électrique avec une tige de laiton placée verticalement, isolée par un support mince en verre; en face de cette tige s'en trouvait une autre semblable, à la même hauteur, et fixée sur un chariot de métal. Ces deux tiges (auxquelles on avait ajusté des pièces d'allonge portant des vis de pression pour fixer les fils) et les pièces métalliques qui y étaient implantées, pouvaient se mouvoir l'une relativement à l'autre au moyen d'une vis à micromètre, ce qui permettait de mesurer exactement les distances auxquelles éclatait l'étincelle de la décharge. Je donne à cet appareil le nom de *micromètre à étincelle*. La tige extérieure a été mise, au moyen d'un fil de cuivre de 1 pied de long et $\frac{1}{4}$ de ligne d'épaisseur, en relation avec la branche de laiton (de 7 pouces de long et de 2 lignes d'épaisseur) d'un bon excitateur de Henley isolé; à l'autre branche de cet excitateur était fixé un fil de cuivre de 8 pouces de long et de $\frac{1}{2}$ ligne d'épaisseur, qui aboutissait immédiatement à l'armure extérieure de la batterie. Les extrémités libres des branches de l'excitateur portaient des vis de pression qui tenaient les pièces de jonction dont je parlerai plus bas. Pour mesurer la quantité d'électricité accumulée, il y avait un fil qui communiquait (comme je l'ai décrit ailleurs) de l'armure extérieure de la batterie à l'électromètre.

Les choses étant ainsi disposées, j'ai fixé entre les deux bras de l'excitateur de Henley tantôt un fil de cuivre de 4 lignes de long et de $\frac{1}{2}$ ligne d'épaisseur, tantôt un fil de platine de 102 pouces de long et de 0,052 ligne d'épaisseur, tantôt enfin un tube de verre rempli d'eau distillée de 8,3 pouces de long et de 4,5 lignes d'épaisseur, fermé à ses extrémités par des montures en cuivre desquelles partaient des pointes courtes dirigées vers l'intérieur du tube. Par ce moyen l'arc de jonction a présenté à l'électricité un conducteur tantôt parfait, tantôt imparfait et métallique, tantôt humide et très-imparfait. J'ai fixé sur les tiges du micromètre deux boules de laiton de 6,25 lignes

de diamètre, que j'ai mises à diverses distances l'une de l'autre (une demi-ligne étant prise pour unité de distance). Le tableau suivant donne les observations des quantités d'électricité obtenues pour des distances explosives déterminées, avec les divers arcs de jonction ; ce sont les moyennes de trois séries d'expériences à peu près concordantes. La distance entre les boules de la bouteille était, comme elle l'a été également plus tard, de 0,3 ligne, afin de rendre le plus certaine possible l'évaluation des quantités d'électricité.

I. *Quantité d'électricité pour une distance explosive déterminée.*

Nombre des bouteilles ou surface de la batterie.	Distance explosive.	L'ARC DE JONCTION RENFERMANT :		
		Fil de cuivre de 4 lignes.	Fil de platine de 102 pouces.	Tube d'eau.
		QUANTITÉ D'ÉLECTRICITÉ.		
s	d	q	q	q
3	1	6	6	6
	2	10,2	10,5	10,5
	3	15	15	14,5
4	1	8	8	8
	2	14,5	14	14
	3	21,5	19,7	19,5
5	1	10	10	11
	2	18	19	19
	3	27	25,5	26
Distance explosive pour l'unité de charge, soit b.	=	0,55	0,55	0,55

Les observations sont presque toutes parfaitement d'accord, et la distance explosive pour l'unité de charge de la batterie est exactement la même, que l'arc de jonction soit bon ou mauvais conducteur, pourvu que les surfaces entre lesquelles se

fait la décharge ne changent pas. La constante b, dans la formule $d = b \frac{q}{s}$, ne varie donc pas quand on change les dimensions ou la nature de l'arc de jonction. Ainsi le principe qu'on avait admis jusqu'à présent doit être rejeté, et l'on peut établir celui-ci, savoir : *la distance explosive de la batterie électrique est entièrement indépendante de la nature de l'arc de jonction.*

Comme l'éclat de l'étincelle et la force du bruit qui l'accompagne dépendent du degré de conductibilité de l'arc de jonction, il est aisé d'obtenir avec la batterie des étincelles de même longueur, mais très-différentes sous d'autres rapports. Cinq bouteilles de la batterie ont donné, pour une certaine charge et avec le fil de cuivre de 1 $\frac{1}{2}$ ligne de long, de longues étincelles si brillantes qu'on ne pouvait en supporter la vue ; elles étaient accompagnées d'un bruit éclatant, tandis qu'avec le fil de platine on a obtenu une étincelle de la même longueur, mais accompagnée d'une faible lumière et d'un bruit sourd, et le tube d'eau n'a donné lieu qu'à une étincelle à peine sensible.

Le tableau que nous avons rapporté plus haut fait voir que ces phénomènes de la décharge, si divers entre eux, sont *produits* par la même quantité d'électricité ; mais on peut bien avoir quelque doute que la même quantité d'électricité soit *neutralisée* pendant leur durée. J'ai déjà fait observer qu'après la décharge qui a lieu à la distance explosive, la batterie reste encore chargée, et qu'on obtient une seconde étincelle en rapprochant les deux extrémités de l'excitateur. Dans quelques-unes des expériences que j'ai rapportées il a fallu, pour amener cette seconde décharge, rapprocher tellement les deux boules du micromètre, qu'il ne paraissait plus possible de déterminer de cette manière avec quelque certitude la charge restante. Mais on y réussit aisément en chargeant de nouveau la batterie après la première décharge, et en déterminant ainsi une seconde

décharge à la même distance que la première ; et alors des quantités d'électricité nécessaires pour opérer ce second résultat, on conclut quelle charge doit rester. J'exposerai d'abord les expériences qui sont relatives à cette seconde charge, et qui ont été faites avec un circuit tout métallique, la batterie ayant dans ce cas sa disposition normale la plus simple. J'ai employé la batterie de la manière que j'ai décrite plus haut, dans une série d'expériences où j'ai introduit le fil de cuivre court, puis dans une autre où j'ai introduit le long fil de platine. La charge de la batterie s'est faite avec soin jusqu'à l'apparition de l'étincelle entre les boules du micromètre; alors j'ai mis pour un moment en relation l'armure extérieure de la batterie avec une bande de cuivre qui conduit au toit de zinc (*allem. zum Zinkdache*), et j'ai opéré ainsi la décharge de la bouteille ; mais ensuite j'ai chargé une seconde fois, et le tableau qui suit indique la quantité d'électricité qui a été introduite et qu'on a pris soin de mesurer.

II. *Quantité d'électricité introduite pour la seconde charge.*

Nombre des bouteilles.	Distance explosive.	L'ARC DE JONCTION RENFERMANT :	
		Fil de cuivre de 4 lignes.	Fil de platine de 102 pouces.
		QUANTITÉ D'ÉLECTRICITÉ.	
s	d	q'	q'
3	1	5	5
	2	8,8	8,7
	3	13	12,5
4	1	6,5	6,5
	2	12,5	11,7
	3	17	17
5	1	9	9
	2	15	16,5
	3	22,5	22,5
Distance explosive pour l'unité de charge soit b'.	=	0,65	0,65

Le résultat des expériences est exprimé d'une manière satisfaisante par la formule $d = 0,65 \frac{q}{s}$, ce qui fait voir que la quantité d'électricité qui reste après la première décharge est toujours la même partie aliquote de la charge primitive, et qu'on a raison de comparer entre elles non pas des expériences isolées, mais des moyennes de plusieurs expériences.

Les quantités d'électricité qu'il faut ajouter en employant divers arcs de jonction, pour obtenir une seconde décharge à la même distance explosive, sont donc parfaitement les mêmes ; et par conséquent la même quantité d'électricité est neutralisée dans la décharge, lorsque le circuit bon conducteur est prolongé par l'addition ou d'un fil de cuivre de 4 lignes de long et de $\frac{1}{2}$ ligne d'épaisseur, ou d'un fil de platine de 102 p^ces^ de long et de 0,052 lig. d'épaisseur. Le retard que produit chacun de ces deux prolongements a une valeur très-différente. Cette différence est aussi grande qu'elle le serait si l'on se servait du même fil en lui donnant une fois 4 lignes, une autre fois 5017 pieds de longueur. Si donc on ajoutait successivement au circuit des fils de l'une ou de l'autre longueur, on ne pourrait encore apercevoir aucune différence dans la quantité d'électricité qui est neutralisée pendant la décharge. Avec des différences plus grandes encore dans la conductibilité du circuit ou un procédé plus délicat pour déterminer la charge restante, trouverait-on une différence dans la quantité de cette électricité ? C'est une question à laquelle on peut ici se dispenser de répondre. Ainsi l'on peut considérer comme suffisamment exact le principe suivant, quand il s'agit des décharges ordinaires de la batterie et des changements qui ont lieu dans le circuit pendant ces décharges : *La quantité d'électricité qui disparaît pendant la décharge de la batterie à la même distance explosive est sensiblement la même, que les fils métalliques dont est formé le circuit soient bons ou mauvais conducteurs.*

La quantité d'électricité qui disparaît à la distance explosive forme de beaucoup la plus grande partie de la charge de la batterie; c'est ce qui résulte de la comparaison des expériences qui sont rapportées dans les deux tableaux que nous avons transcrits. En effet, le premier fait connaître toute la quantité d'électricité nécessaire pour la décharge, et le second la quantité qui est introduite dans la batterie après cette première décharge. Nous avons désigné par b et b' les constantes au moyen desquelles on calcule la quantité totale d'électricité et celle qui a disparu après la première décharge; la première de ces quantités se trouve être $\frac{1}{b}$ pour l'unité de surface et de distance explosive, et la dernière $\frac{1}{b'}$, en sorte que $\frac{b}{b'}$ exprime la proportion de la charge totale qui a disparu à la distance explosive. Les expériences que j'ai rapportées donnent $\frac{11}{13}$ pour valeur de cette fraction, et dans un grand nombre d'expériences faites dans des états atmosphériques très-différents, j'ai obtenu une valeur très-peu différente de celle-là. J'opérais dans un local chauffé et très-sec, la sécheresse de l'air et des supports isolants de l'appareil étant, comme on sait, une condition nécessaire dans les expériences d'électricité. Les boules entre lesquelles passent les étincelles qui résultent de la décharge ne peuvent guère être plus petites que celles que j'avais prises, car il se ferait alors une perte d'électricité pendant qu'on chargerait la batterie; tandis qu'on peut prendre des boules plus grosses sans apercevoir aucune influence sensible sur la proportion d'électricité qui disparaît pendant la décharge; c'est ce que font voir clairement les tableaux qui suivent. — Au lieu des boules de laiton, j'ai mis deux disques de même métal de 8 $\frac{1}{6}$ lignes de diamètre sur les tiges du micromètre; ces deux disques n'étaient pas exactement parallèles entre eux, en sorte que la décharge avait toujours lieu à la même place près de leur bord. J'ai d'abord observé la charge complète q, puis la quantité d'électricité q'

qu'il fallait introduire dans la batterie après la première décharge, pour obtenir une seconde décharge à la distance explosive, et j'ai obtenu les résultats suivants :

III. *Quantité d'électricité pour une distance explosive déterminée entre deux disques.*

Nombre de bouteilles ou surface de la batterie. s	Distance explosive. d	Charge entière. — Quantité d'électricité. q	Charge additionnelle. — Quantité d'électricité. q'
3	1	5,0	4
	2	9,5	8
	3	13,5	11,5
4	1	6,5	6
	2	12,5	11
	3	19	16
5	1	8,5	7,5
	2	17	14
	3	24	20,5
Distance explosive pour l'unité de la charge :		$b = 0,62$	$b' = 0,73$

La quantité d'électricité qui a disparu à la distance explosive est ici les $\frac{62}{73}$ de la charge primitive; elle est par conséquent un peu plus considérable que lorsqu'on employait les boules. — J'ai remis les boules sur les tiges, mais j'ai fait communiquer les branches de l'excitateur de Henley avec deux boules métalliques (l'une de 5,7 lignes, l'autre de 4,4 lignes de diamètre) qui étaient isolées par des bâtons de verre et avaient 0,3 ligne de distance entre elles. J'ai formé ainsi un circuit interrompu, en sorte que l'étincelle de la décharge qui avait lieu à la distance explosive, devait passer entre les boules du micromètre et entre les boules de l'excitateur éloignées de 0,3

ligne. La distance explosive pour l'unité de la charge est devenue moindre, comme on devait s'y attendre, à cause de l'interruption du circuit; mais le rapport entre la quantité d'électricité qui a disparu et la quantité totale a été presque le même qu'il avait été quand le circuit était continu; c'est ce qui résulte du tableau suivant :

IV. *Quantité d'électricité pour une distance explosive déterminée, et avec un circuit interrompu.*

Nombre des bouteilles ou surface de la batterie. s	Distance explosive. d	Charge totale. — Quantité d'électricité. q	Charge additionnelle. — Quantité d'électricité. q'
3	1	7,5	6
	2	13	11
	3	18	15
4	1	8	7
	2	16	13
	3	22	19
5	1	12	10
	2	21	18
	3	28	25
Distance explosive pour l'unité de la charge :		$b = 0,48$	$b' = 0,57$

La quantité d'électricité qui a disparu à la distance explosive s'est élevée ici à $\frac{16}{19}$ de la charge primitive. Nous avons pour l'expression de la quantité d'électricité qui a disparu à la distance explosive :

Avec les boules. . . . . 0,846 }
Avec les disques. . . . . 0,849 } de la
Avec une interruption dans le fil de } charge totale.
jonction. . . . . 0,842 }

Malgré la grande diversité que présente la disposition du circuit, cette quantité d'électricité qui a disparu est presque dans le même rapport avec la charge totale, et ainsi l'on peut regarder comme démontré le principe suivant : Lorsqu'on décharge la batterie au moyen d'un circuit métallique en approchant deux boules l'une de l'autre, *les $\frac{11}{13}$ de la charge totale disparaissent lorsque les boules sont placées à la distance explosive.*

Voici en conséquence ce qui se passe dans la manière ordinaire dont on opère la décharge, en approchant une boule jusqu'à ce qu'elle en touche une autre qui communique avec l'intérieur de la batterie. Lorsque la boule mobile est arrivée à une distance de la boule fixe, déterminée par la charge de la batterie, il se fait une décharge dans laquelle disparaissent les $\frac{11}{13}$ de la charge ; nommons cette distance *d*. Alors la boule mobile s'approche de la boule fixe sans décharge, car il ne peut y en avoir une qu'à la distance $\frac{2}{13}$ *d*; cette seconde décharge fait disparaître les $\frac{11}{13} \cdot \frac{2}{13}$ ou environ les $\frac{2}{23}$ de la charge primitive. La boule détermine alors à la distance $\left(\frac{2}{13}\right)^2 d$ la décharge des $\frac{11}{13}\left(\frac{2}{13}\right)^2$ ou d'environ les $\frac{15}{749}$ de la charge primitive, et ainsi de suite. La boule mobile doit être considérée comme en état de repos pendant que chacune des décharges s'opère, car la rapidité avec laquelle la neutralisation des électricités a lieu est hors de toute proportion avec la vitesse avec laquelle on meut la boule qui opère la décharge, que cette boule soit mise en mouvement avec la main ou avec un mécanisme. Les valeurs de la distance explosive *d* étant peu considérables dans les expériences avec la batterie, il est rare qu'on puisse observer plus de trois décharges. Dans les expériences précédentes la plus grande distance explosive était de 1 $\frac{1}{2}$ ligne, en sorte que si l'on approche l'une de l'autre par un mouvement continu les boules du micromètre, les décharges ont lieu aux distances suivantes :

1,5 0,23 0,035 0,0055 ligne, dont la troisième ne peut

déjà plus se distinguer du contact. En outre, les quantités d'électricité qui se déchargent deviennent graduellement si petites que, dans des expériences sur l'action de la décharge de la batterie, aucune des décharges qui suivent la seconde ne peut avoir d'influence sensible sur le résultat.

Ainsi dans la manière ordinaire de décharger en employant la boule mobile, il se fait dans le circuit deux ou plusieurs décharges, qui se succèdent l'une à l'autre dans un intervalle de temps appréciable, intervalle de temps qui est celui dont la boule a besoin pour passer d'une distance explosive à celle qui vient immédiatement après. Mais chaque décharge particulière n'a pas lieu non plus instantanément : dans la première, par exemple, les $\frac{11}{13}$ de la charge ne sont pas neutralisés dans le circuit dans un seul acte instantané, mais successivement, quoique l'intervalle de temps qu'exige cette neutralisation soit inappréciable comparativement à celui qui sépare la première décharge de la seconde. On trouve la preuve que cette neutralisation est bien successive dans l'expérience connue, qui consiste en ce que, lorsqu'une partie de circuit est détruite par l'effet de la décharge, il reste dans la batterie une quantité d'électricité beaucoup plus grande que lorsque le circuit reste intact; ce fait est confirmé par les expériences suivantes.

Nous avons vu plus haut que lorsqu'on introduit une colonne d'eau dans le circuit, la distance explosive est exactement la même pour une certaine charge que lorsque le circuit est entièrement métallique. Cela prouve que la décharge est déterminée uniquement par l'état électrique des deux boules de métal, entre lesquelles l'étincelle se montre. Mais si, à la première apparition de l'étincelle, toute la quantité d'électricité qui disparaît dans la décharge était neutralisée, cette quantité devrait, pour une même distance explosive, être la même quand le circuit est formé tout entier de métal ou qu'il renferme de l'eau, et c'est ce qui n'arrive pas. Le tableau suivant présente

la charge primitive et la subséquente avec un circuit où l'on introduit le tube d'eau dont j'ai parlé.

V. *Quantité d'électricité pour une distance explosive déterminée lorsque le circuit renferme un tube rempli d'eau.*

Nombre des bouteilles ou surface de la batterie. s	Distance explosive. d	Charge totale. — Quantité d'electricité. q	Charge additionnelle. — Quantité d'électricité. q'
3	1	6	3,5
	2	10,5	7
	3	14,5	10,5
4	1	8	4,5
	2	14	9
	3	19,5	13,5
5	1	11	5
	2	19	11,7
	3	26	17
Distance explosive pour l'unité de charge :		$b = 0,55$	$b' = 0,88$

Il a disparu ici les $\frac{5}{8}$ de la charge entière à la distance explosive, et il en est resté les $\frac{3}{8}$ dans la batterie. Quand la décharge de la batterie a eu lieu entre les mêmes boules, avec un circuit tout métallique, à la même distance explosive il a disparu les $\frac{11}{13}$ de la charge et il en est resté les $\frac{2}{13}$. Ainsi la présence de la colonne d'eau dans le circuit de la batterie a produit un résidu d'électricité dans la batterie plus que double de ce qu'il aurait été sans cela. Il résulte aussi des expériences précédentes que l'influence de l'interposition de la colonne d'eau n'a été active qu'*après* que la décharge a eu lieu. Ainsi : *lors de la décharge de la batterie à la distance explosive, la neutralisation de l'électricité se fait graduellement.*

Cette neutralisation graduelle de la plus grande partie de l'électricité accumulée, qui a lieu lorsque la distance des deux boules entre lesquelles la décharge s'opère reste la même, trouve son explication dans ce fait connu, que la distance explosive pour une décharge électrique déterminée augmente avec la raréfaction de l'air à travers lequel passe l'étincelle. En effet, lorsque la plus petite partie de la quantité d'électricité qui doit être déchargée a disparu, il faudrait, si la densité de l'air était restée la même entre les boules, que ces boules fussent à une plus petite distance pour que la décharge suivante pût avoir lieu. Si, au contraire, ainsi qu'il le faut admettre, l'air a été raréfié par la première étincelle, la seconde peut passer quoique la distance n'ait pas changé ; et celle-ci à son tour produisant une nouvelle raréfaction dans l'air, le passage de la troisième pourra s'effectuer également, et ainsi de suite, jusqu'à ce que la charge de la batterie soit devenue si faible que le passage de l'électricité à la distance constante des boules ne puisse plus avoir lieu. Lorsque la décharge a cessé, et qu'ainsi l'espace qui est entre les boules est de nouveau occupé par de l'air à l'état de densité ordinaire, la décharge ne peut plus avoir lieu qu'à une distance beaucoup plus petite entre les boules, et cette distance, ainsi qu'il a été démontré plus haut, est avec la précédente dans le même rapport que la charge restante avec la charge primitive. Par exemple, étant donnée une certaine charge, il faut, pour rendre une nouvelle décharge possible, réduire de 1,5 à 0,23 ligne la distance entre les boules si le circuit est tout métallique, et de 1,5 à 0,56 ligne lorsque le circuit est interrompu par une colonne d'eau.

L'inégalité des résidus d'électricité dans ces deux cas, et en général l'effet de l'interposition du tube d'eau dans le circuit, ont besoin d'une explication particulière. La décharge de la batterie dépendant indubitablement de l'état électrique des boules entre lesquelles l'étincelle éclate, on doit être surpris de ce que, lorsqu'on introduit dans le circuit le tube

d'eau à une place éloignée, circonstance qui ne peut pas changer immédiatement l'état électrique des boules, la quantité de l'électricité restante soit plus que double de ce qu'elle est lorsque le circuit est tout métallique. Il y a cependant une considération qu'il ne faut point négliger.

Une batterie électrique est à l'état de charge parfaite lorsque ses deux armures renferment de l'électricité de nature contraire, en quantités qui ont entre elles un rapport déterminé, lequel dépend de l'épaisseur et de la nature du verre dont les bouteilles sont faites. Pendant le phénomène graduel de la charge ou de la décharge, ce rapport est le même à chaque moment, et la batterie passe par une série croissante ou décroissante de charges diverses en force, mais toutes également parfaites, et pour chacune desquelles existe une distance explosive qui est proportionnelle à la quantité d'électricité accumulée. — Les choses se passent autrement au moment où la décharge a lieu à travers le circuit. Pendant que l'électricité passe de l'armure intérieure à l'extérieure (dont l'arc de jonction doit être considéré comme le prolongement), il disparaît par chacune de ces armures exactement la même quantité d'électricité; le rapport entre les deux quantités d'électricité qu'elles contiennent ne peut donc plus subsister, et la batterie passe ainsi à l'état de charge imparfaite, qui se rapproche toujours davantage de celui d'une surface électrisée et isolée. En même temps la distance explosive diminue dans un rapport moindre que la quantité de l'électricité qui se trouve dans la batterie. On reconnaît aisément que, si d'abord la quantité d'électricité de l'armure intérieure était 1, et celle de l'armure extérieure m (le rapport m étant celui qui a lieu lorsque la charge est complète), la distance explosive, dans le moment où l'électricité de l'armure intérieure a diminué de la quantité p, doit avoir diminué dans le rapport de $1 - p$ pour l'état de charge parfaite, et de $1 - \frac{p}{1 + m}$ pour celui de charge im-

parfaite. Quand on pourrait isoler complétement la batterie et le circuit, cette dernière diminution (la plus faible) pourrait seule avoir lieu, quelle que fût d'ailleurs la nature de l'arc de jonction. Mais l'appareil étant nécessairement soutenu par des corps étrangers, il se fait pendant la décharge un changement dans son état électrique, en ce que l'armure extérieure enlève aux corps étrangers leur électricité dont elle a besoin pour rétablir le rapport m. La distance explosive de l'électricité accumulée sur l'armure intérieure diminue ainsi plus rapidement, et la décharge cessera en général plus tôt que si la batterie ne revenait pas à l'état de charge parfaite. — Le temps qu'il faut à l'armure extérieure pour recevoir de l'électricité des corps ambiants, doit être très-considérable relativement à celui dans lequel la décharge se fait à travers des fils métalliques très-longs et très-minces, puisque nous n'avons pas trouvé plus haut (tableau n° 2) de différence sensible dans la quantité de l'électricité restante lorsqu'on fait usage du fil court de cuivre ou du long fil de platine. Mais ce temps peut entrer en ligne de compte, quand la marche de la décharge dans le circuit est ralentie par l'introduction d'un tube d'eau; alors la batterie peut rentrer dans l'état de charge parfaite, avant que la quantité d'électricité qui peut se neutraliser à la distance explosive ait entièrement disparu de l'armure intérieure. Ainsi s'explique ce qui se passe dans le cas précédent, dans lequel une certaine quantité d'électricité ne peut plus traverser la couche d'air comprise entre les deux boules, lorsqu'on introduit un tube d'eau dans le circuit, quoiqu'une quantité d'électricité beaucoup moins considérable pût traverser cette même couche lorsque le circuit était tout métallique. Cette différence provient de ce que la quantité plus considérable se trouvait évidemment à l'état de charge beaucoup plus parfaite que la plus petite.

Jusqu'à présent on s'est représenté la décharge de la batterie

comme un passage de la charge primitive à des charges plus faibles, mais toujours parfaites, de telle sorte qu'il est nécessaire de faire ressortir le principe suivant : *Dès le premier moment de la décharge de la batterie la condition de la charge parfaite est détruite, ou ce qui est la même chose, le rapport déterminé qui a lieu pour une certaine batterie entre les quantités d'électricité des deux armures, n'existe plus.*

En terminant, j'ajouterai quelques mots sur les phénomènes qui ont servi de point de départ à ce mémoire, c'est-à-dire sur la lumière et le bruit qui accompagnent la décharge. Ces phénomènes n'ont aucune liaison avec la distance explosive. Ils dépendent à la fois de la densité et de la quantité de l'électricité qui est dans la batterie, tandis que la distance explosive ne dépend que de la première de ces circonstances ; ils changent avec la nature de l'arc de jonction, laquelle est sans influence sur la distance explosive, et enfin ils peuvent varier lors même que la quantité de l'électricité neutralisée pendant la décharge reste la même. Mais l'intensité de la lumière et du bruit est liée avec un des effets déjà connus de la décharge. Si l'on suppose, en effet, le circuit formé d'un fil constamment le même, on trouve que l'échauffement produit dans ce fil par la décharge augmente ou diminue d'une manière uniforme avec la force de l'étincelle de la décharge et l'intensité du bruit qu'elle occasionne. Cette analogie entre les phénomènes qui accompagnent la décharge et l'échauffement, s'étend plus loin qu'on ne peut le conclure des expériences rapportées plus haut. — J'ai fait voir, ailleurs, que l'échauffement dans le circuit reste invariable ou subit une diminution considérable, suivant qu'on ajoute ou qu'on n'ajoute pas au circuit un fil secondaire. Or, un changement tout à fait analogue se fait remarquer dans la force des phénomènes de décharge. J'ai fait usage des deux grandes spirales d'induction, et j'ai fait communiquer la spirale principale d'un côté avec la boule extérieure du micromètre à étincelle, de l'autre avec l'armure extérieure de la batterie. La spirale secondaire,

qui était à deux lignes de distance de la première et qui en était séparée par une plaque de verre, est restée d'abord ouverte, puis a été fermée par un fil de cuivre de six pouces de long. Dans les deux cas, lorsque la quantité d'électricité 19, produite par quatre bouteilles, s'est déchargée par la spirale principale, la distance entre les boules du micromètre a été de 1 $\frac{1}{2}$ ligne, et l'on a eu une étincelle très-vive, accompagnée d'un bruit très-fort. Quand, au contraire, on a fermé la spirale secondaire par un fil de platine long de 102 pouces et épais de 0,052 ligne, la distance explosive est restée, il est vrai, la même que dans le cas précédent, mais l'étincelle et le bruit produits par la décharge ont paru considérablement affaiblis. J'ai fait voir, dans un précédent travail, que dans les deux premiers modes de disposition pour la spirale secondaire, l'échauffement du fil principal était le même, mais que dans le troisième il était beaucoup diminué. — Il existe une analogie qu'on ne peut méconnaître entre l'échauffement produit dans l'arc de jonction et l'intensité des phénomènes qui accompagnent la décharge, et l'on ne peut pas citer en opposition les expériences que j'ai déjà fait connaître dans le vol. 43, p. 82 des *Ann. der Physik*. Si l'on force, en effet, la décharge à passer à travers divers corps solides non conducteurs, tels que des cartes, du verre, du mica, on trouve que l'échauffement dans le circuit est d'autant moindre que l'étincelle est plus vive et le bruit plus intense dans la décharge. Il est aisé de voir que, dans ce cas, la décharge commence par une destruction partielle de l'arc de jonction, et que la violence de l'explosion produite en même temps doit nécessairement varier avec la solidité et la masse des parties détruites. Ces cas ne se trouvent donc pas compris dans le principe suivant : *Lorsque la décharge de la batterie a lieu à travers l'air, la force de l'étincelle et de l'explosion varie d'une manière uniforme avec l'échauffement d'un fil constant placé dans le circuit.*

De nouvelles recherches apprendront si ce principe, puisé

dans l'expérience, peut aider à résoudre la difficile question qui a pour objet la nature de la lumière électrique, et s'il peut fournir quelque appui à la théorie d'après laquelle on considère cette lumière comme un phénomène purement secondaire et dépendant d'une combustion [1].

[1] L'auteur nous paraît être dans l'erreur quand il avance qu'il existe une théorie dans laquelle la lumière électrique serait considérée comme un phénomène dépendant d'une combustion. Il aurait dû se borner, ce nous semble, à dire qu'il existe une théorie dans laquelle la lumière électrique est considérée comme un phénomène purement secondaire. En effet, dans cette théorie la lumière électrique serait due à la propriété qu'aurait la décharge électrique de désagréger les particules de la surface d'où sort l'électricité positive, de les réchauffer assez pour les faire mettre en incandescence, incandescence qui amènerait la combustion, seulement dans les cas où ces particules seraient en contact avec de l'air ou de l'oxigène. (R.)

OBSERVATIONS SUR LES EFFETS ÉLECTRIQUES DU GYMNOTE, par C.-F. Schönbein.

Les anciens connaissaient déjà un poisson extraordinaire doué du pouvoir *occulte* de donner de violentes secousses à ceux qui le touchaient. Cet animal remarquable se rencontrait principalement sur les côtes de la mer Méditerranée, ou de l'Océan Atlantique, qui appartiennent à la France ; quelquefois même il s'aventurait jusque vers les rivages sud-ouest de l'Angleterre. On ne le trouva jamais dans l'eau douce. Comme on peut le présumer, ce curieux poisson fut, dans ces contrées, l'objet de l'attention et de l'étonnement des physiciens ainsi que du peuple, et les idées les plus extraordinaires régnaient sur le moyen employé par la torpille pour donner ces coups si violents aux hommes et aux animaux. En 1678, Stéphano Lorinzini s'ingénie à démontrer que la torpille donne des secousses : parce qu'elle introduit durant quelques instants dans les pores de la peau de celui qui la touche de petits corpuscules, et presse alors violemment les muscles qui s'y trouvent.

Ce n'est qu'un siècle après cet Italien que l'on commença à avoir des idées plus exactes sur la nature des secousses données par la torpille. On connaissait alors la bouteille de Leyde, et il n'était pas besoin de beaucoup d'attention et d'observations, pour trouver une grande ressemblance entre les effets de cet instrument de physique et ceux du poisson en question. Ce fut un naturaliste anglais, Walsh, qui, en 1773, affirma le premier que l'effet de la torpille était d'une nature électrique ; et cet excellent observateur ne manqua pas d'accompagner cette explication de faits très-frappants. Il s'assura que la secousse est conduite par tous les corps bon conducteurs, les

métaux, l'eau, mais non par les substances isolantes, le verre, la résine, etc. En outre, Walsh démontra que le dos et le ventre de la torpille sont doués d'états électriques opposés, exactement comme les armures de la bouteille de Leyde, et il observa même une étincelle électrique au moment d'une des décharges du poisson.

Malgré la lumière jetée sur ce phénomène par les expériences de ce savant, elles étaient encore loin d'épuiser le sujet, et de résoudre l'énigme en question. Un quart de siècle devait s'écouler, et la science s'enrichir d'une des plus brillantes découvertes qui rentrent dans le domaine de la physique, avant qu'on pût aller plus avant, et découvrir la nature mystérieuse des poissons électriques. Volta découvrit une nouvelle source d'électricité; et à peine eut-il fait connaître son admirable pile, que l'attention des naturalistes se porta de nouveau sur la torpille, et sur les autres poissons électriques découverts depuis lors; car il ne pouvait guère leur échapper qu'il existait une ressemblance frappante entre l'effet de ces animaux et l'action de l'instrument imaginé par le grand physicien italien.

Depuis le commencement de notre siècle jusqu'à ces dernières années, il n'a manqué ni de physiciens distingués qui aient examiné les effets électriques de la torpille et des autres animaux semblables, ni d'anatomistes et de physiologistes qui aient cherché à lier les phénomènes électriques avec la position relative des membres du poisson en question, ainsi qu'avec leurs fonctions nerveuses. Je nommerai Fahlberg, Humboldt, Gay-Lussac, Todd, Humphry Davy, John Davy, Linari, Matteucci et Faraday, qui, durant les quarante dernières années, ont le plus travaillé pour avancer nos connaissances sur les poissons électriques.

Les anatomistes reconnurent bientôt que chaque torpille possède des organes qui sont indispensables pour produire les phénomènes électriques, et les physiologistes montrèrent que

les nerfs qui arrivent à ces organes jouent aussi un rôle essentiel dans le développement de cette force particulière. En effet, si l'on enlève à la torpille l'organe en question, elle vit encore, mais elle a perdu le pouvoir de donner des secousses; et si l'on coupe les filets nerveux qui communiquent avec ces parties, la force électrique disparaît de même. Humboldt et Gay-Lussac, qui ont fait au commencement de ce siècle un grand nombre d'expériences sur la torpille, n'avaient pu obtenir de ce poisson qu'un seul des effets produits par l'électricité, c'est-à-dire, la secousse sur le corps humain. Humphry Davy qui, en 1820, observa plusieurs de ces animaux vers les côtes de la Méditerranée, n'obtint pas des résultats plus étendus, et fut par là conduit à supposer l'existence d'une électricité animale, semblable à l'électricité ordinaire, mais non pas identique avec elle. Il y a quelques années, le P. Linari, savant sicilien, réussit à tirer de la torpille une étincelle, mais d'induction probablement, puisqu'il ne put l'obtenir qu'à l'aide d'une longue spirale de cuivre, et semblable à celles que l'on obtient, même d'un très-petit élément thermo-électrique, avec une spirale de Henry. Matteucci obtint les mêmes résultats dans les mêmes circonstances. Quoique l'étincelle ne provînt pas immédiatement du poisson, il n'y a pas le moindre doute qu'elle ne pouvait être produite par la spirale qu'au moyen de l'électricité existante de l'animal.

On sait que tout corps qui est traversé par un courant électrique acquiert des propriétés magnétiques. Malgré la force surprenante des secousses données par la torpille, aucun physicien n'avait réussi à faire dévier l'aiguille aimantée au moyen d'un fil métallique, placé dans son voisinage et traversé par la décharge du poisson électrique. John Davy réussit enfin, en 1833, à aimanter un fil au moyen de la torpille, c'est-à-dire à mettre en mouvement l'aiguille du galvanomètre; il réussit aussi à décomposer par le même moyen l'iodure de potassium et

même l'eau: nouveaux exemples de l'identité de l'électricité voltaïque avec la force qui émane de l'animal en question.

Le plus grand des poissons électriques connus jusqu'à présent ressemble beaucoup à l'anguille, c'est le *Gymnotus electricus*, que l'on n'a rencontré que dans quelques rivières de l'Amérique méridionale, et dont Humboldt nous a donné dans ses voyages une description si intéressante.

Les coups que cet animal extraordinaire peut donner sont d'une telle violence, que des poissons très-forts et même des chevaux en sont étourdis et presque frappés à mort. Pendant mon séjour à Londres, dans l'automne de 1839, j'eus une de ces occasions si rares, et par conséquent si précieuses pour un physicien, de pouvoir observer un gymnote vivant, et de le soumettre à quelques expériences, occasion que je ne négligeai naturellement pas. Le but de ce mémoire est de faire connaître quelques-uns des résultats de mes observations.

M. Bradley, qui est à la tête de l'établissement de science populaire, si connu en Angleterre sous le nom de *Galerie Adélaïde*, avait eu la bonté de mettre à ma disposition le gymnote de l'établissement, à une heure où les visitants ne sont pas admis, et je consacrai une soirée à examiner les effets curieux de cet animal; MM. Grove, Everit, Watkins et Bradley furent assez aimables pour m'y accompagner et m'aider avec toute leur obligeance.

Le gymnote en question, long de quarante pouces environ, se trouvait dans un bassin circulaire dont le diamètre n'était guère plus grand que la longueur de l'animal, et dans lequel il pouvait assez commodément nager en rond. Le fond du bassin est couvert de sable, et l'eau qu'on y renouvelle souvent reçoit de la chaleur de la chambre une température moyenne assez uniforme. Quoique ce poisson, à l'époque où je le vis, fût en captivité depuis plus d'une année, il paraissait être encore parfaitement bien portant, et ne pas se trouver trop mal dans son étroit réservoir. Lorsque nous entrâmes dans la cham-

bre, il nageait tout autour de son bassin, et ne parut nullement dérangé ni effrayé par l'arrivée des nouveaux venus. L'aspect de cet animal gris-verdâtre, semblable à un long serpent, de cette tête assez grosse et de ces yeux placés en dessus, a quelque chose de peu agréable, d'effrayant même pour quelques personnes, impression que renforce encore la conscience de sa puissance extraordinaire et unique en son genre.

Je voulus d'abord éprouver par moi-même l'effet surprenant que produit cet animal, c'est-à-dire la secousse.

A ce qu'il paraît, l'anguille remarqua très-bien que nous méditions quelque chose contre elle, car lorsque je me plaçai au bord du bassin, les manches relevées et les bras en avant, pour la saisir en même temps par la tête et par la queue, elle se retourna tout d'un coup, alla se placer à l'endroit du bassin le plus éloigné de moi, et ne revint point de mon côté, tant que j'y restai moi-même. Je dus donc m'éloigner un peu du bassin, prendre un air indifférent et attendre quelque temps, jusqu'à ce que l'animal recommençât sa marche circulaire. Dès que je crus l'instant favorable je m'approchai subitement de l'eau, et saisis fortement le poisson en avant et en arrière. Le coup que je reçus fut extraordinairement violent, parce que l'animal n'avait pas fait usage de sa puissance depuis assez longtemps; et comme je m'efforçais aussi de le supporter de sang-froid, il paraît que malgré moi l'étonnement avait contracté ma figure et mes gestes, car les amis qui me regardaient au moment où je sortis mes mains de l'eau partirent d'un grand éclat de rire. Cependant l'effet n'avait pas été aussi violent sur moi que sur le capitaine Basil Hall, qui, en faisant la même expérience quelques jours avant, avait été si violemment frappé par le gymnote qu'il était tombé par terre. Il est probable que la surprise augmente encore l'effet réel, car aucune sensation n'est plus inattendue que celle qui est produite par l'électricité.

Au reste, pour ce qui est de la violence, je puis comparer la secousse que j'ai reçue à celle que donnerait une très-grosse

bouteille de Leyde chargée au maximum, ou bien à l'effet que produit une pile hydro-électrique de 200 paires. Ainsi que l'ont observé Humboldt et plusieurs autres personnes, en touchant l'animal je sentis non-seulement un coup, mais plusieurs qui se succédèrent rapidement l'un à l'autre; ce qui montre que le gymnote possède la faculté de décharger la provision de sa force électrique à son gré et par portions isolées sur les objets qui le touchent, ou bien de la produire à volonté à de très-petits intervalles de temps.

Aucun de mes amis alors présents n'eut envie de recevoir la secousse seul, mais ils se réunirent en chaîne en se mouillant les mains. Les deux qui étaient placés aux extrémités touchèrent l'un la tête, l'autre la queue du poisson, et tous furent à la fois traversés de plusieurs secousses, qui durent être aussi assez vives, car tous sautèrent sur le plancher et poussèrent aussitôt des cris d'étonnement. D'après leur description, la secousse qu'ils éprouvèrent ne dut guère être plus faible que la mienne, et ils n'eurent pas plus que moi le désir de toucher une seconde fois le poisson. — Voici maintenant quelques expériences d'un autre genre.

Sous une petite cloche fixée sur un pied de bois étaient suspendues deux minces feuilles d'or, de telle manière qu'il restait entre elles un espace visible; chacune communiquait avec une tige de métal; les deux tiges étaient isolées l'une de l'autre, et se prolongeaient en dehors de la cloche. L'on plaça alors sur la tête et sur la queue du gymnote deux plaques de cuivre, à chacune desquelles était fixé un fil de cuivre de plusieurs pieds de longueur; l'on fit ensuite communiquer les extrémités libres de ces deux fils avec les deux tiges isolées; aussitôt les deux lames d'or se rapprochèrent, on vit éclater entre elles une étincelle, et une petite partie de l'or brûla avec la lumière ordinaire.

M. Watkins avait apporté un appareil thermo-électrique extrêmement sensible, construit d'après les indications de Snow

Harris; mais malheureusement à l'instant où nous voulûmes faire passer le courant du poisson au travers du fil très-fin de cet instrument, il s'y cassa quelque chose qui empêcha de répéter une seconde expérience. Il nous fut donc impossible de déterminer si le courant instantané du gymnote, en parcourant un fil, produit ou non une élévation de température appréciable.

Nous mesurâmes l'effet chimique de notre gymnote au moyen de l'iodure de potassium, sel si facile à décomposer. Un morceau de papier à filtrer fut plongé dans une dissolution assez concentrée de ce sel, puis je le mis en communication d'une manière convenable avec la tête et la queue du poisson. A l'instant même où le circuit formé par le corps de l'animal, les deux fils et l'électrolyte, fut fermé, on vit paraître une tache brune bien visible à l'endroit du papier où était placé le fil qui venait de la tête. Cette expérience prouve nettement que ce poisson a le pouvoir de décomposer instantanément les corps composés, et montre de plus que la tête du gymnote ou la partie antérieure se conduit, pour son action chimique, comme le pôle positif d'une pile voltaïque. Je ne dois pas oublier ici de faire mention d'un fait observé durant cette expérience, et qui parut énigmatique à toutes les personnes présentes. A l'instant où le papier imprégné d'iodure de potassium fut mis en communication avec le poisson, nous observâmes une étincelle très-visible. Watkins avait déjà observé le même phénomène, et reconnu comme nous qu'il n'a pas lieu chaque fois, mais seulement d'une manière exceptionnelle, quoique l'on s'efforçât de répéter l'expérience dans des circonstances aussi semblables que possible. Autant que j'ai pu l'observer moi-même, l'on n'obtient jamais d'étincelle ni au moment où l'on ferme le circuit d'une pile galvanique au moyen d'un corps électrolytique, ni au moment où ce dernier est mis en dehors de l'action du courant. Je n'ose donc pas exprimer une opinion sur la nature et la cause du phénomène mentionné ci-dessus, d'au-

tant moins que je crains de décider si l'étincelle a eu lieu réellement à l'ouverture du circuit ou à l'instant de sa fermeture.

L'essai de la décomposition de l'eau par le gymnote ne fut pas exécuté, en partie par manque de temps, en partie aussi parce qu'à ce moment il nous manqua les instruments nécessaires. Cette combinaison ne doit pourtant pas être décomposée d'une manière frappante ; je suis même disposé à croire que dans la plupart des cas on obtient un résultat négatif, au moins en apparence, c'est-à-dire qu'il ne se fait pas de dégagement visible d'hydrogène et d'oxigène. A mon avis, il n'en est pourtant pas moins facile de démontrer d'une manière plausible que le gymnote décompose l'eau aussi bien qu'aucun autre électrolyte, l'iodure de potassium par exemple. J'ai prouvé précédemment par de nombreuses expériences que le courant même le plus faible ne peut pas traverser un liquide électrolytique quelconque, sans communiquer une polarité électrique aux électrodes de platine qui y plongent ; et j'ai de même donné la preuve réelle que l'état polaire des électrodes obtenu dans ces circonstances provenait des parties constituantes de l'électrolyte qui s'y déposent, et par conséquent de la décomposition de celui-ci, qui en est la conséquence. Si donc on mettait d'une manière convenable deux lames de platine en communication l'une avec la tête du gymnote, l'autre avec sa queue, et si l'on plongeait ces lames dans un peu d'eau acidulée, je suis convaincu d'avance que la lame de la tête serait polarisée négativement et l'autre positivement, qu'ainsi toutes deux se trouveraient dans un état tel que la décomposition de l'eau s'ensuivrait sans aucun doute. J'ai recommandé cette expérience à mes amis scientifiques de Londres, mais je ne sais si elle a été faite depuis lors.

Le dernier essai que nous fîmes dans cette soirée fut de faire passer la décharge du poisson au travers du fil d'un galvanomètre. La déviation de l'aiguille obtenue dans ces circonstances fut de 42 degrés, et le sens dans lequel elle eut lieu montra

encore que la tête du poisson représente le pôle positif d'une pile voltaïque, et la queue le pôle négatif. La déviation obtenue ici doit être regardée comme considérable, car le galvanomètre employé n'était rien moins que très-sensible, le fil n'ayant pas un très-grand nombre de tours.

En terminant la description des expériences que j'ai pu faire sur le gymnote, je ne dois pas négliger de remarquer que Faraday avait entrepris avant moi une série d'expériences, dont les résultats concordent entièrement avec les miens, et qui ont été communiqués à la Société royale. Vu le grand intérêt scientifique qui est attaché à ce genre de recherches, et la rareté des occasions qui se présentent aux physiciens d'expérimenter sur un gymnote vivant, je n'ai pas cru superflu d'ajouter mes expériences aux expériences si remarquables de Faraday, et de les faire connaître, malgré les lacunes qu'elles présentent.

D'après les données ci-dessus, il me semble évident que la force au moyen de laquelle le gymnote donne à l'homme des secousses, brûle les métaux, produit l'étincelle, sépare les éléments d'une combinaison et aimante les corps conducteurs, présente non-seulement la plus grande ressemblance avec celle qui est en jeu dans la pile voltaïque, mais qu'elle est absolument identique avec elle. Il ne peut donc plus être question d'une électricité animale particulière, telle que le célèbre Davy la supposait dans les torpilles ; car il en résulterait que le principe établi par les physiciens, que les effets semblables supposent des causes identiques, n'aurait pas une acception générale. Sans doute il n'est pas impossible que la force en action dans le gymnote ou la torpille, malgré l'accord qu'elle présente avec l'électricité ordinaire (pour les effets observés jusqu'ici), soit pourtant différente ; c'est-à-dire que l'on peut encore croire que la force possédée par ces poissons agirait autrement que l'électricité ordinaire dans certains cas encore inconnus. Cependant, tant que nous ne pourrons observer aucune différence essentielle dans la manière d'agir de ces deux forces, nous ne

serons pas autorisés à les supposer différentes. Mais si nous ne devons plus avoir aucun doute que la force exercée par ces animaux ne soit la même que celle qui produit les importants et magnifiques phénomènes du tonnerre et des aurores boréales, ainsi que les effets non moins étonnants de nos machines électriques et de nos piles voltaïques, notre étonnement doit pourtant être excité à un haut degré lorsque nous considérons la grande différence des circonstances dans lesquelles la même série de phénomènes est produite.

Quels objets peuvent en effet différer d'une manière plus frappante, qu'un instrument composé de cuivre, de zinc, d'eau et d'acide, et l'organisation de la torpille? Quelle différence peut être plus grande que celle qui existe entre une bouteille de Leyde et le gymnote? et quelles circonstances sont plus diverses que celles sous lesquelles l'éclair destructeur sort des nuages, et celles où le gymnote étourdit de ses coups celui qui le touche dans son élément liquide?

D'un côté ces curieux phénomènes naissent de l'action mutuelle de certaines substances inanimées, de l'autre ils sont le produit d'un organisme vivant arrangé avec une habileté parfaite.

Il est vrai que tous les poissons doués du pouvoir de dégager de l'électricité possèdent des organes qui manquent complétement aux autres espèces de poissons, et dont l'extraction a pour conséquence inévitable la perte de ce pouvoir; de plus, on ne peut méconnaître tout à fait une certaine ressemblance entre la disposition des parties qui composent l'organe électrique et la construction par couches d'une pile voltaïque ordinaire. On a, en outre, attribué une cause physique aux phénomènes électriques observés sur les poissons, d'après l'assertion de Volta, que le contact de deux corps de nature différente produit le développement électrique, et c'est dans ce but que l'on a donné beaucoup d'attention aux piles diverses, construites avec des muscles et des nerfs, ou d'autres substances organi-

ques hétérogènes. Mais ces faits et ces raisonnements sont, à mon avis, très-éloignés d'établir même une ressemblance indéterminée, bien moins encore l'identité des circonstances dans lesquelles les phénomènes électriques sont produits dans le gymnote et dans la pile de Volta. Il me semble clair que l'organe particulier aux poissons électriques ne possède pas en lui-même, c'est-à-dire dans l'arrangement mécanique de ses parties, la base physique nécessaire pour former de l'électricité, puisque cet organe, séparé de l'animal, ne ressemble nullement alors à une pile de Volta, et ne produit aucun effet électrique, de quelque manière qu'on le manie, et quelles que soient les circonstances où on le mette. Le fait de la complète incapacité de l'organe électrique, si l'on coupe les nerfs qui y arrivent, ou si l'animal est mort, conduit à la même conclusion. L'action des nerfs, là où elle peut exister, doit être regardée comme aussi indispensablement nécessaire que l'organe lui-même pour produire les effets électriques; mais il se pourrait bien néanmoins que le siége unique et la source de l'électricité fût dans ce dernier. Pour comprendre que cela soit possible, on n'a qu'à admettre que l'électricité ne se dégage dans l'organe que lorsque les éléments qui le forment se trouvent amenés les uns relativement aux autres dans une position déterminée, et de plus, que cet arrangement des éléments s'opère d'une manière quelconque par l'action des nerfs qui leur sont unis, et qui aboutissent au cerveau du poisson. Supposons, par exemple, une pile voltaïque construite de manière que les plaques de métal, ainsi que le liquide, puissent à volonté, au moyen d'un arrangement mécanique, ou être amenées au contact nécessaire pour produire l'électricité, ou dans une position contraire; alors la force au moyen de laquelle on ferait mouvoir le mécanisme en question, n'aurait visiblement aucune part immédiate aux effets de la pile. L'action des nerfs pourrait peut-être jouer un rôle secondaire semblable dans le dégagement d'électricité du gymnote et de la torpille, et elle pour-

rait bien être limitée à produire des effets de mouvement mécanique dans l'organe électrique. Mais outre que les anatomistes n'ont pas encore assez bien analysé la construction de cet organe, et que les physiologistes n'ont pas encore examiné les fonctions et le rôle de ses parties d'une manière assez exacte et complète, pour que nous soyons autorisés à présumer l'existence d'appareils semblables, il y a encore quelques autres faits qui me paraissent être décidément contraires à l'hypothèse mentionnée ci-dessus.

Comme je l'ai déjà dit, je vois d'abord une objection dans la constitution physique et chimique des substances qui composent l'organe électrique. Autant qu'elles sont connues sous le rapport cité, elles présentent un caractère électro-moteur si indifférent que, de quelque manière qu'on les emploie et les réunisse, elles sont incapables de produire seules des effets électriques comparables à ceux que nous voyons produits avec tant de facilité par les poissons vivants. Les effets voltaïques obtenus par quelques observateurs, lorsqu'ils ont arrangé en pile des substances semblables à celles qui forment les organes électriques des poissons, ont été réellement si faibles que, sous aucun de ces rapports : physiologique, chimique ou physique, ils ne peuvent être pris en considération. Outre cela, la plupart des données sur ces dégagements d'électricité sont d'une telle nature, que nous ne sommes point assurés que les derniers soient produits essentiellement par la réaction des substances organiques mises en contact mutuel. Si nous adoptons la théorie de Volta, comment pouvons-nous accorder avec elle le fait qu'un gymnote vivant soit en état de produire sur le corps humain des effets plus énergiques que ceux que produit une pile de cent couples, très-forte et formée des meilleurs électromoteurs? Et quelle base favorable peut donner au phénomène extraordinaire en question celui qui voit la source de l'électricité de la pile dans l'action chimique? Ni la soi-disant tension des parties qui composent l'organe électrique, ni leur

relation chimique mutuelle, ne peuvent, dans l'état actuel de notre théorie, être regardées comme les causes véritables des effets produits par les poissons électriques; ainsi l'idée que l'organe en question soit le facteur physique unique, la source essentielle de l'électricité dégagée par les poissons, me semble inadmissible.

Un fait paraît aussi parler contre la justesse de cette idée, c'est celui que tous les poissons électriques (dans certaines limites) peuvent à volonté ou donner ou retenir leurs coups, et se comporter ainsi d'une manière active ou passive. D'après les observations de Faraday, par exemple, le gymnote connaît très-bien si les corps qui le touchent sont vivants ou inanimés, si ce sont les membres d'un homme ou des bandes de cuivre, si ses coups sont sentis ou non, et l'animal se conduit selon les circonstances, dans l'usage qu'il fait de sa puissance électrique. Se sent-il touché par les mains d'un homme, il manque rarement de faire sentir toute sa force; tandis que si l'on touche ses pôles électriques avec des morceaux de métal, il se décharge bien aussi quelquefois au travers de ce système de conducteurs, mais cesse bientôt dans ces circonstances d'exercer son activité. De même le gymnote de Londres laisse souvent très-longtemps un petit poisson nager tranquillement près de lui dans son bassin; mais s'il lui prend l'envie de le manger, alors il se met en cercle, enferme sa proie dans cette enceinte fatale et se décharge si vivement dans la masse d'eau ainsi renfermée, que le petit poisson qui s'y trouve tourne aussitôt le ventre, et pendant son étourdissement est avalé par le gymnote. Si donc l'électricité se produit dans l'organe par une action purement physique ou chimique, ou d'une manière tout à fait indépendante d'une action organique, on ne peut guère comprendre le pouvoir arbitraire avec lequel le poisson non-seulement exécute ses décharges, mais aussi en diminue ou en augmente la force.

L'épuisement et la faiblesse électrique que montrent les poissons, lorsqu'ils ont été actifs durant longtemps, est encore un fait contraire plutôt que favorable à l'idée en question. On n'a pas pu jusqu'ici, à ma connaissance, observer une différence anatomique, physiologique ou chimique, entre l'état que présente l'organe électrique avant un développement extraordinaire de sa force, et celui dans lequel il se trouve après son épuisement; et cela aurait dû avoir lieu, ce semble, si l'électricité dans le poisson était due à des causes physiques ou chimiques. D'après la théorie qui voit dans le contact de deux substances différentes une source intarissable d'électricité, on ne peut nullement comprendre pourquoi le poisson s'épuise; car tant que les électromoteurs de l'organe ne sont pas altérés, leur pouvoir ne devrait pas changer; aussitôt après la décharge ils devraient revenir à l'état de tension électrique, et s'y maintenir sans affaiblissement. Mais de même que dans tout organisme la force vitale s'épuise par les efforts, de même aussi le pouvoir électrique du poisson diminue beaucoup par un usage fréquent; fait qui semble démontrer un rapport intime entre la force électrique et la force vitale de cet animal.

Il y a encore une autre circonstance qui, selon moi, mérite toute l'attention des physiciens, et qui ne paraît pas être tout à fait étrangère à celle dont nous venons de parler. Le gymnote donne ses coups dans de l'eau ordinaire, et la torpille dans de l'eau fortement salée. Or, comme cette eau conduit assez bien l'électricité, les pôles électriques du poisson sont en apparence réunis par un bon conducteur, et dans de telles circonstances l'état de charge réelle doit être d'autant moindre qu'il dure plus longtemps, comme, par exemple, lorsqu'une bouteille de Leyde chargée est plongée dans un verre d'eau, ou une pile voltaïque isolée, dans une dissolution saline. Mais toutes les expériences faites jusqu'ici sur ces animaux paraissent prouver, qu'ils se trouvent au milieu de liquides capables de conduire l'électricité, et qu'ils peuvent s'en tenir isolés, c'est-à-dire devenir actifs

ou rester inactifs à volonté. Peut-être aussi ces poissons possèdent-ils une organisation particulière qui les rend capables de mettre à volonté leur appareil électrique en communication avec le milieu liquide, ou de l'en isoler. Je n'ai rien encore découvert chez eux qui annonce l'existence d'une faculté de ce genre; d'ailleurs l'appareil, s'il existait, devrait être d'une nature bien remarquable, car la plupart des substances animales, et les membranes en particulier, sont de bons conducteurs de l'électricité. Si nous voyons dans l'action des nerfs soumise à la volonté du poisson la puissance qui donne à l'électricité la première impulsion, nous pourrons concevoir, au moins en général, que les animaux en question puissent être entourés des meilleurs conducteurs, et par conséquent aussi d'eau salée, être en contact intime avec eux et en être comme pénétrés, sans être déchargés de leur électricité. La chose, envisagée de cette manière, n'est même pas plus surprenante que le pouvoir que j'ai, par exemple, au moyen de la force des muscles et des nerfs soumise à ma volonté, de donner à mon bras une position horizontale, malgré la pesanteur qui le sollicite en bas.

Pour justifier cette idée que le siége de la force électromotrice du poisson se trouve naturellement et non pas d'une manière exceptionnelle dans les organes électriques, on pourrait faire valoir cette circonstance que le courant produit possède toujours une direction déterminée relativement à certaines parties du corps, et qu'il n'est en aucune manière dans la volonté de l'animal de le diriger tantôt en avant, tantôt en arrière. Il peut à volonté se décharger, ou retenir sa force; il peut de même accroître ou diminuer la violence de ses coups; mais d'autre part il est étroitement et invariablement assujetti à la loi qui détermine la direction suivant laquelle il envoie les courants qu'il produit. Si l'on reconnaît que l'invariabilité mentionnée du courant est due à un arrangement fixe et à la nature spéciale des organes électriques, il ne me paraît pas en résulter que cet appareil doive être regardé comme la

première base déterminante pour la production du courant même. Les formes sous lesquelles les activités se déploient et la manière dont les forces se manifestent, sont dans tous les cas liées à certaines conditions matérielles, et dans le règne organique en particulier à des relations fixes de membres, sans que pour cela la source propre de ces forces et de ces activités réside dans ces relations mêmes. Si le mouvement d'un membre est, sans aucun doute, dépendant de la volonté, et si la cause de ce mouvement n'est pas dans le membre même, cependant l'espèce de ce mouvement est prescrite par son organisation. Il pourrait bien en être de même pour l'invariabilité de la direction du courant : elle pourrait être due à une division (*allem.* Gliederung) déterminée de l'organe électrique. L'air ébranlé dans un haut-bois produit un autre son que celui qu'il donne dans une clarinette, et cette différence de son provient uniquement de la différence dans la forme et la disposition de l'instrument, quoique à leur tour ces dernières ne soient pas par elles-mêmes la cause du son.

Qu'il me soit permis, avant d'abandonner ce sujet, de présenter encore quelques.considérations générales qui s'y rapportent. Nous voyons les êtres vivants dégager tous de la chaleur sans aucune exception; quelques animaux possèdent même le pouvoir de dégager de la lumière, et l'on est porté à chercher la cause de ces phénomènes dans les circonstances chimiques et physiques sous lesquelles ils se présentent dans le domaine de la création inanimée. Comme chaque organisme est une espèce de laboratoire dans lequel s'opèrent sans cesse des séparations et des combinaisons chimiques, l'on dit que la source principale de la chaleur organique provient de ces changements divers. Je suis bien éloigné de vouloir bannir du domaine de la nature vivante les actions chimiques et physiques, et n'attribuer tous les phénomènes qui s'y passent qu'aux forces soi-disant organiques. Le monde organique est si profondément enraciné dans l'inorganique, et tous deux sont tel-

lement unis, qu'on ne peut presque pas considérer l'un sans l'autre. Ce serait donc un vrai miracle si les forces qui jouent dans la nature inanimée un rôle général et efficace étaient sans influence et sans importance dans le règne organique. Mais de cette liaison intime il ne me semble nullement résulter, que les phénomènes qui sont communs aux deux puissances, doivent être dans tous les cas produits de la même manière. Si, par exemple, dans toute combinaison chimique il se dégage de la chaleur, et s'il est vrai que dans les animaux le même effet ait lieu d'une manière non interrompue, il ne s'ensuit pas que toute la chaleur animale ait une source chimique. Même dans la nature inorganique, un même phénomène peut être produit par les circonstances les plus différentes. On peut dire la même chose de la lumière et de l'électricité, que nous voyons paraître dans les êtres vivants.

Ne savons-nous pas qu'une forte agitation de l'âme peut faire instantanément rougir la figure, et une frayeur glacer tous les membres? et, si je ne me trompe, à ces sensations opposées correspondent des états thermométriques différents pour les parties du corps qui sont ainsi *saisies*. Ces phénomènes pourraient-ils provenir de ce que l'action des nerfs, soudainement exaltée ou affaiblie, accélère ou ralentit l'action chimique? Je ne le crois pas vraisemblable; mais, dans le cas même où il en serait ainsi, cette influence instantanée de l'action du sentiment et des nerfs sur les fonctions chimiques et sur le dégagement de la chaleur, serait néanmoins un fait extrêmement remarquable.

On a de même, je crois, observé chez les animaux vivants qui luisent dans l'obscurité, que le degré de ce dégagement lumineux dépend plus ou moins de leur volonté, et qu'en particulier l'irritation exercée sur eux d'une manière externe ou interne produit une influence très-remarquable sur leur pouvoir lumineux. Ce fait, à mon avis, se range parmi ceux dont nous avons déjà parlé, et paraît aussi montrer de son

côté que dans les cas cités le développement de la lumière, comme celui de la chaleur, dépend d'une action spontanée, d'une activité semblable à celle de l'âme.

Quant aux effets électriques produits par les poissons, il est hors de doute, comme on l'a remarqué, qu'ils dépendent dans certaines limites de la volonté de ces animaux ; et ainsi il existerait dans le règne organique trois séries de phénomènes physiques qui seraient dans l'union la plus intime avec l'action des nerfs, ou, pour remonter plus loin encore, avec la puissance de volonté de l'animal. Cette liaison intime qui a lieu entre des agents si différents, indique un mystère de la nature, dont l'explication est aussi difficile pour l'esprit humain, qu'il doit exciter à un haut degré la curiosité du savant, car dans le concours de ces actions nous voyons bien rapprochées des puissances que la faiblesse de nos vues nous a fait regarder comme infiniment éloignées les unes des autres. La lumière, la chaleur et l'électricité, ce principe des plus grandes forces de la nature, qui porte le mouvement dans le monde de la matière inerte, peuvent aussi provenir d'une source qui touche de près au domaine de la liberté et de la vie ; elles peuvent jaillir d'une force qui se détermine elle-même dans ses manifestations. Les cas que je viens de citer ne sont pas les seuls, dans le domaine de la matière, des choses visibles et palpables, où nous rencontrions cette action de forces qui ont conscience d'elles-mêmes ; ce n'est pas là seulement que nous observons des effets physiques produits par des forces vitales, comme aussi le phénomène inverse. L'œil de l'observateur impartial voit chaque jour des milliers d'exemples de la relation intime de réciprocité qui existe entre le nécessaire et le spontané, entre le corporel et le spirituel, et il rencontre, sous les formes les plus variées, des phénomènes dont la manifestation serait complétement impossible, s'il existait réellement, entre les forces qui gouvernent le règne organique et celles qui agissent sur la matière soi-disant inanimée, cet abîme infranchissable au su-

jet duquel une science incomplète et étroite a su déjà débiter tant de choses. Des principes d'une autre espèce ont sans doute aussi contribué et contribuent encore toujours à l'existence d'une erreur si grossière, qui, toute facile qu'elle est à reconnaître, retarde malheureusement trop les progrès de la véritable science.

Les physiciens surtout, et les physiologistes en particulier qui s'occupent de l'explication du mystère de la vie, dépasseront à peine, je le crains, l'écorce du phénomène, si dans leurs recherches empiriques ils n'ont pas continuellement présent à l'esprit le principe fondamental de la véritable physique, ce principe dont la vérité ne demande aucune autre preuve, et qui établit la parfaite unité de la nature.

Si l'on supposait que dans la nature il existe des différences absolues, qu'il y a des forces qui peuvent s'exercer, des substances qui peuvent exister, des activités qui peuvent se déployer sans lien, sans rapport entre elles, ce serait, dans le domaine des sciences naturelles, aussi raisonnable et aussi vrai qu'il l'était, dans celui de la religion et de la philosophie, d'admettre que le monde est conduit et gouverné par une foule de divinités différentes. Organisation et mode d'activité, matière et force, vie et mort, liberté et nécessité, tout cela se trouve dans l'union la plus étroite, se confond l'un avec l'autre, se détermine réciproquement, et jaillit d'une seule et même source infinie. Et si la nature, dans l'espace et dans le temps, nous paraît se subdiviser à l'infini, comme un innombrable amas d'individualités sans rapport entre elles, comme un mélange bigarré des choses les plus diverses, il faut uniquement et seulement l'attribuer à la déplorable étroitesse de notre vue.

Cette vérité capitale, confusément aperçue par la plupart, reconnue d'un très-petit nombre, tournée même en dérision par beaucoup de sages comme un non-sens, n'en a pas moins été dès longtemps l'âme de toute la physique, la mère de toutes les grandes découvertes, le guide de Kepler, de Galilée, de Newton,

d'Herschel, et de tous les vrais philosophes, même sans qu'ils en aient toujours eu clairement la conscience. Dans le changement continuel des phénomènes découvrir l'élément immuable; dans la masse embrouillée des faits, saisir l'harmonie, l'ordre et la loi; reconnaître la ressemblance, l'affinité qui unit au fond ce qui paraît divers, étranger et hostile; voir dans la lutte brutale des puissances destructives de la nature, ainsi que dans le jeu tranquille de forces lentement agissantes, une seule main et un seul but, une seule loi et une seule direction; en un mot, ramener toute la variété de la nature à une seule source, à une seule cause : tel a été l'objet des efforts de tous les grands penseurs, tel est le but le plus élevé que se propose aujourd'hui l'étude de la nature, et c'est à s'en rapprocher le plus possible que tendront encore à l'avenir tous les esprits qui reçoivent la belle vocation, l'inestimable privilége de contribuer à la marche du développement de l'intelligence humaine, et de prendre une part immédiate à la découverte des secrets de la nature.

Pour revenir encore une fois au sujet d'où nous étions partis, nous dirons en résumé, relativement aux effets électriques des poissons, que selon nous, la vraie cause de ces phénomènes est encore complétement obscure, et ne doit être cherchée ni dans la constitution physique ou chimique, ni dans une organisation déterminée de certaines parties de ces animaux, mais qu'il existe, sans que nous puissions en pénétrer maintenant le comment, une liaison intime entre les actions vitales dépendantes de la volonté du poisson et les phénomènes physiques que produisent ces actions vitales.

Ce rapport intime qui existe entre l'action électrique et l'action vitale ne nous deviendra probablement plus facile à saisir, que lorsque nous connaîtrons plus exactement la nature de l'électricité, qui aujourd'hui encore est complétement énigmatique pour nous; lorsque nous saurons entr'autres, si l'électricité n'est qu'un état particulier de ce que nous appelons la matière, ou si elle

provient de vibrations particulières de l'éther, ou enfin si elle doit être regardée comme une force primitive et spécifique de la nature, dans le genre de la pesanteur. Tant que nous n'avons pas une idée exacte de ce que c'est que l'électricité, les différents modes de son développement nous seront nécessairement incompréhensibles, et nous ne pourrons à peu près rien dire sur la cause de l'électricité animale, quand même les anatomistes et les physiologistes auraient très-soigneusement étudié la structure du poisson, et qu'ils nous auraient fait connaître avec l'exactitude la plus grande toutes ses fibres et ses plus petits nerfs.

Comme les forces électriques ont sur les animaux une si grande influence, qu'elles peuvent ramener pour quelque temps chez ceux qui sont morts sinon la vie elle-même, du moins l'apparence de la vie, elles ont à grand droit attiré l'attention des physiologistes, et fait conjecturer qu'elles pourraient bien avoir une part essentielle dans les phénomènes normaux de la vie animale. Cette idée, énoncée il y a déjà un demi-siècle, ne pouvait manquer de faire naître les expériences les plus variées par lesquelles il s'agissait surtout de découvrir l'action électrique dans l'organisme vivant. On en a en effet démontré des traces dans quelques animaux, en particulier dans les grenouilles ; et plus récemment Prevost et quelques physiciens italiens croient avoir aussi découvert dans les animaux d'un ordre plus élevé, et même dans l'homme, la présence d'un courant voltaïque. Cependant dans la plupart de ces travaux non-seulement l'origine purement animale des faits est encore douteuse, mais, sans disconvenir de ces derniers, ils paraissent si faibles qu'ils ne sont réellement rien lorsqu'on les met en regard avec la masse des effets électriques donnés par les poissons. De l'absence apparente ou de la faiblesse de l'électricité dans la plupart des animaux il ne s'ensuit pas que cet agent n'y joue aucun rôle ou même n'en joue qu'un insignifiant. Pour trouver ceci compréhensible il suffit d'admettre que l'électricité se présente

sous forme voltaïque, et que les courants parcourent le corps dans toutes les directions possibles, comme les courants moléculaires que la théorie d'Ampère suppose dans le fer et dans l'acier. Dans cet état l'électricité ne pourrait naturellement donner ni des effets de tension, ni les effets électro-dynamiques d'un courant unique, ou de courants de même direction. Si la supposition ci-dessus était exacte, les animaux vivants mis sous l'influence d'un aimant devraient aussi devenir des aimants, c'est-à-dire que leurs courants moléculaires devraient être dirigés de la même manière, et par conséquent agir comme le fer sur l'aiguille aimantée. Jusqu'ici, à ma connaissance, on n'a pas encore fait d'expériences de ce genre; car pour découvrir des courants dans l'organisme, on ne s'est principalement servi que du galvanomètre.

La cause en vertu de laquelle les poissons électriques se distinguent tellement de tous les autres animaux par leur force électrique, c'est peut-être que, par suite d'une organisation déterminée, les parties susceptibles de polarisation électrique sont arrangées d'une manière symétrique, c'est-à-dire comme le sont, à ce qu'on suppose, dans une tourmaline chauffée, les pôles électriques des particules intégrantes, tandis que les molécules organiques des autres animaux, quoique développant par elles-mêmes des oppositions électriques, sont liées entre elles d'une manière si variée, que leurs effets au dehors sont nécessairement annulés.

Pour constater l'existence d'un état électrique de ce genre, tout moyen d'expérience nous manque encore, au moins à ma connaissance.

Quoi qu'il en soit, il ne faut nullement abandonner l'espoir d'arriver tôt ou tard, par la voie de l'expérience et de l'observation, à une parfaite connaissance de la manière dont la chose se comporte, et de savoir si l'électricité n'est qu'un phénomène secondaire dans le domaine organique, ou bien si elle prédispose d'entrée les forces vitales, et exerce une influence déterminante essentielle dans les fonctions de l'organisme animal.

Il n'est pas invraisemblable que la nature nous a à moitié découvert dans les poissons électriques ce qu'elle a trouvé bon de couvrir d'un voile épais dans le reste du règne animal. Cherchons donc à soulever là quelque peu ce voile du mystère, pour pénétrer dans les profondeurs qui s'offrent à nous de ce côté-ci, et porter le flambeau de la science là où règnent encore la nuit et l'obscurité.

SUR L'ANALOGIE DE L'ÉLECTRICITÉ AVEC L'INFLUENCE NERVEUSE, par Mr. M. ROBERTS. (*Phil. Mag.* juillet 1841.)

L'auteur, persuadé de la grande ressemblance qui existe entre l'action des nerfs et l'influence électrique, si même elles ne proviennent pas toutes les deux d'une cause identique, a cherché à appuyer sa conviction à cet égard sur des analogies nouvelles, et qui n'avaient point attiré jusqu'ici l'attention.

La première qu'il signale est l'influence de l'électricité sur la circulation des fluides, et l'extrême probabilité qu'il y a, selon lui, qu'une action de la même nature s'exerce pour accélérer le mouvement du sang dans l'animal vivant.

La force d'impulsion du cœur semble complétement insuffisante pour chasser le sang dans les vaisseaux capillaires, si elle n'était aidée par quelque autre influence. En effet, outre la résistance que les inflexions des artères exercent sur le mouvement du sang, il est une autre cause de résistance plus importante encore, savoir l'adhésion du sang aux parois des vaisseaux. La première cause, celle de l'inflexion des vaisseaux, est aisément vaincue par la force d'impulsion du cœur, le mouvement du sang dans les artères n'étant point rapide. L'adhésion du sang aux parois des artères, au contraire, de-

vrait exercer une influence retardatrice considérable sur le mouvement de ce fluide, si cette influence n'était pas plus ou moins contrebalancée par une autre. En effet, les vaisseaux capillaires en particulier sont si ténus que leurs parois touchent chaque particule du sang dans son passage, et si quelques-uns d'entre eux peuvent admettre deux ou trois globules de front, le plus grand nombre n'en laisse passer qu'un seul, tandis que d'autres sont tellement étroits que la lymphe seule y peut librement circuler.

On sait que l'adhésion des fluides aux solides est si considérable que lorsque chaque particule d'un liquide est en contact avec les parois du tube dans lequel il se meut, il faut une forte pression pour vaincre la résistance qui s'oppose à son écoulement. On peut mesurer à la balance cette force d'adhésion, en fixant sous un des plateaux les corps solides, et en faisant la tare exacte dans l'air; puis en faisant affleurer la surface du solide dont on veut reconnaître la force d'adhésion sur un vase plein d'eau ou d'un autre liquide, on voit les poids qu'il faut ajouter à la tare pour vaincre cette résistance. On trouve qu'un pouce carré de bois exige 50 grains pour le séparer de l'eau; un pouce carré d'or exige 446 grains pour l'enlever au mercure; l'argent 429 grains; l'étain 418 grains; le plomb 397 grains; le verre 194 grains.

On comprend d'après cela qu'un liquide circulant dans des tubes très-fins peut, par l'adhésion de ses particules avec la surface intérieure des canaux, être entièrement arrêté dans son mouvement, ou du moins ne se dégager qu'en gouttes et à de longs intervalles; c'est en particulier ce qui arrive pour l'eau dans des tubes capillaires.

Or l'électricité a le pouvoir de détruire cette adhésion des liquides aux solides, car des corps électrisés de même manière se repoussent mutuellement. Aussi l'auteur a-t-il démontré que les solides placés à la surface de fluides cessaient d'y adhérer lorsqu'ils étaient fortement électrisés, et qu'il en était de même

pour le passage des fluides dans les tubes capillaires. L'appareil pour le démontrer est fort simple. C'est un tube d'étain long de trois ou quatre pouces et d'un pouce de diamètre, ouvert par un bout et garni à l'autre de cinq à six tubes capillaires longs de deux ou trois pouces. On remplit d'eau le tube d'étain et on l'attache par un fil métallique au conducteur d'une machine électrique. Tant que la machine reste sans action, l'eau ne s'écoule point par les tubes capillaires ou, s'ils ne sont pas trop étroits, à peine en sort-il de temps en temps une seule goutte. Mais dès qu'on fait mouvoir la machine et qu'on électrise ainsi l'appareil, on voit immédiatement l'eau s'écouler rapidement par les tubes, et cela d'autant plus vite que l'électricité développée est plus énergique. Les particules de l'eau et celles de la surface des tubes ayant la même électricité tendent à se repousser, et ainsi se trouve détruite l'attraction naturelle qui causait primitivement l'adhésion entre le solide et le liquide. L'eau s'échappe, en conséquence, comme si le tube était assez large pour que l'influence d'attraction des parois ne fût pas sensible.

L'auteur voit dans cette curieuse expérience, déjà connue, un exemple de ce qui doit se passer dans les vaisseaux capillaires dont le diamètre, à peine supérieur à celui des globules du sang, devrait arrêter le passage de ce fluide, si cette influence n'était pas balancée par une action névro-électrique.

Mr. Poisseulle a mesuré avec l'instrument de son invention qu'il a nommé *hémadynamomètre* la force d'impulsion du cœur, et il l'a trouvée égale à celle qui soutiendrait une colonne de six pouces de mercure. Cela équivaut à une pression de trois livres par pouce carré, et il est aisé de prouver qu'une telle force serait insuffisante pour contrebalancer la résistance que doit apporter au passage du sang son adhésion aux parois des vaisseaux capillaires. En effet, si l'on substituait sur un cadavre à l'action du cœur celle d'une pompe foulante pour injecter les artères et les vaisseaux capillaires, et que l'on

ne donnât à cette pompe qu'une force de pression de quatre livres, il est bien évident qu'elle serait insuffisante pour faire pénétrer dans les petits vaisseaux un liquide même bien moins visqueux et moins adhérent que le sang. A bien plus forte raison, doit-il en être de même lorsqu'il s'agit de la circulation du sang dans tout le système du corps vivant. La structure des artères démontre qu'elles ne peuvent servir d'auxiliaires au cœur pour pousser le sang en avant. Elles n'ont aucune force musculaire, et leur tissu est seulement doué d'une sorte d'élasticité qui subsiste longtemps après la mort de l'animal et jusqu'au moment où la décomposition commence. Or cette élasticité de tissu ne peut leur faire attribuer aucune force active; elle ne sert qu'à régulariser le cours du sang, qui sans cela serait projeté par jets interrompus à chaque cessation de l'action du cœur, à peu près comme les réservoirs d'air dans les pompes à feu servent à rendre le jet continu malgré l'alternance du mouvement du piston.

Il faut donc admettre une influence qui puisse contrebalancer la force d'adhésion du sang aux parois des vaisseaux, et cette force doit être la même que celle que l'expérience démontre posséder cette influence dans le règne inorganique, c'est-à-dire l'électricité, et dans le corps vivant l'électricité nerveuse. En effet, plusieurs faits prouvent que la circulation dans les vaisseaux capillaires est influencée par les nerfs d'une manière remarquable.

Ainsi plus les vaisseaux capillaires sont ténus, plus aussi est grand le nombre des nerfs qui s'y distribuent, une influence nervo-électrique plus considérable étant nécessaire pour surmonter l'adhésion des parois des vaisseaux, bien plus rapprochées de chaque particule liquide. Ainsi on peut regarder l'inflammation comme une action nervo-électrique accrue dans les vaisseaux capillaires, qui électrisant le sang et ces vaisseaux plus que cela n'a lieu dans l'état ordinaire, diminue encore la force d'adhésion du liquide. Dans ceux de ces vaisseaux qui

admettaient les globules rouges, il en passe alors une plus grande proportion, et dans ceux qui dans l'état sain leur refusaient passage et ne laissaient circuler que la lymphe, les globules rouges parviennent à pénétrer, comme on le voit dans l'inflammation de la conjonctive de l'œil, etc.

Le second période de l'inflammation est la réaction, c'est-à-dire une diminution de l'influence nervo-électrique; la force d'adhésion n'est plus suffisamment contrebalancée; les globules rouges s'attachent aux parois des vaisseaux, et il se produit ce que l'on appelle congestion.

On peut imiter ces phases pathologiques avec l'appareil décrit plus haut, surtout si l'on emploie au lieu d'eau du sang liquide : une électricité modérée donne un léger écoulement au fluide par les tubes capillaires; puis une vive électrisation imite la première période inflammatoire par une rapide admission du liquide dans les tubes, et enfin, lorsque l'influence électrique diminue, quelques gouttes seulement continuent à traverser les tubes, présentant l'image de la congestion.

Ainsi, l'enflure doit être le résultat d'un pouvoir névro-électrique augmenté qui, détruisant la force adhésive du sang dans les plus petits vaisseaux capillaires, permet à la circulation d'envahir les cellules qui étaient vides auparavant. Ce ne semble pouvoir être que cela, car l'action du cœur est constante et l'enflure est un phénomène accidentel; le cœur ne pourrait projeter plus de sang dans un point spécial du système, et il est difficile de pouvoir expliquer autrement que par l'action névro-électrique, les effets locaux de l'enflure ou de l'inflammation, tandis que cette action suffit pleinement à en donner une explication satisfaisante.

Beaucoup de faits tendent à prouver, en effet, que l'enflure ou l'inflammation ne peuvent se produire sans un changement dans l'action nerveuse, et que les nerfs en sont les agents essentiels. Ainsi, lorsque l'on coupe d'un côté chez un animal les nerfs de la cinquième paire qui se dirigent sur la conjonctive,

l'action des caustiques sur l'œil, par exemple de l'ammoniaque caustique, ne produit point l'inflammation, tandis que la même substance appliquée sur l'autre œil dont le nerf est resté intact, y produit tous les symptômes d'une inflammation violente. Une section de même genre empêche de même l'afflux du sang dans le corps caverneux.

Ainsi encore, si l'on admet qu'une affection de l'âme peut accroître l'influence nervo-électrique sur la figure et le cou, il sera aisé d'expliquer la rougeur qui quelquefois les recouvre, par l'injection du sang dans les vaisseaux capillaires, qui suit la diminution de la force d'adhésion aux parois.

Une diminution de l'action névro-électrique expliquerait la lente circulation qu'on remarque dans les membres paralysés; lorsqu'elle est très-grande, ceux de ces vaisseaux qui recevaient des globules rouges n'admettent plus que la lymphe et la pâleur du membre en est la conséquence, accompagnée qu'elle est d'une diminution dans la nutrition.

On pourrait, comme le fait l'auteur lui-même, remarquer encore, à l'appui de son hypothèse, l'apparence des globules rouges du sang lorsqu'on les observe au microscope dans leur passage au travers des vaisseaux capillaires. Ils paraissent, en effet, être comme animés d'une force considérable de répulsion mutuelle, et comme cherchant à s'écarter autant que possible des parois des vaisseaux.

Ayant ainsi établi selon lui la probabilité d'une influence électrique sur la circulation, l'auteur se demande d'où peut provenir ce pouvoir nervo-électrique que le corps vivant possède. Il n'hésite pas à en trouver la source dans la respiration. En effet, l'électricité se dégage toujours des combinaisons chimiques de l'oxigène avec des liquides ou des solides, et, dans l'acte de la respiration, une quantité notable de ce gaz se combine au carbone du sang veineux. Il doit en conséquence se produire beaucoup d'électricité qui, conduite par le sang, doit produire tous les phénomènes signalés par l'auteur. Peut-être

selon lui, qu'une partie de cette électricité est attirée et retenue par le cerveau et la moelle épinière, mais l'origine première lui paraît évidemment due à la respiration, et il est porté à croire que l'on trouvera l'air expiré par les poumons fortement électrisé par la même cause.

Une conséquence de cette théorie peut être de faciliter pour les anatomistes l'art des injections dans les préparations anatomiques. En électrisant fortement les parties injectées au moment même où l'on y pousse le liquide coloré, il est probable que, la force d'adhésion du solide au liquide étant contrebalancée, l'injection pénétrera jusqu'aux dernières ramifications des vaisseaux capillaires, et au delà du point où l'on est jusqu'ici parvenu. Seulement il sera nécessaire d'isoler sur un plateau métallique, porté par un pied de verre ou suspendu à des cordons de soie, la portion du corps qu'on désirera injecter, ainsi que l'appareil lui-même qui doit servir à refouler le liquide, sans quoi on ne pourrait espérer de l'électriser suffisamment. Cet appareil une fois isolé et le plateau de métal mis en communication avec le conducteur principal d'une bonne machine électrique, on doit s'attendre à voir le liquide de l'injection pénétrer, sans les rompre, dans les vaisseaux les plus déliés.

I. M.

RAPPORT SUR LE MÉMOIRE DE MM. ZANTEDESCHI ET FAVIO SUR LES COURANTS ÉLECTRIQUES QUI EXISTENT DANS LES ANIMAUX A SANG CHAUD, par Mr. CANTRAINE. (Lu à l'Académie royale des sciences et belles-léttres de Bruxelles, le 4 avril 1840.)

Bien peu de travaux ont été entrepris sur l'électricité dans ses rapports physiologiques, et, à l'exception des animaux doués d'un organe électrique spécial qui ont été étudiés d'une manière approfondie, ce que nous savons de l'électricité animale se réduit, à bien peu de choses près, à des suppositions. Bon nombre de faits semblent néanmoins se réunir pour nous faire penser que l'électricité, cet agent si énergique et si universel, exerce aussi une influence notable, peut-être même prépondérante, sur les phénomènes si compliqués de la vie. Malheureusement ces recherches sont délicates et difficiles; il faut pour s'y livrer être à la fois médecin, anatomiste et physicien, et savoir démêler les causes diverses qui peuvent modifier les résultats obtenus dans les expériences ou les observations. Ce sont des recherches de ce genre que Mr. Cantraine a entrepris d'analyser.

Les auteurs partent des principes posés par MM. les professeurs Pucinotti et Pacinotti, de Pise, qui ont établi par leurs expériences qu'il y a dans les animaux vivants un courant électro-vital ou nervo-électrique, dont le caractère est d'être l'effet d'une réaction vitale soit volontaire, soit anatomique, et qui est, sinon la cause de la vie, du moins l'effet immédiat et spécial que la vie peut seule produire ou conserver. Ils ont reconnu que ce courant peut être sondé et observé d'une manière plus ou moins évidente, selon la nature des métaux et la

forme des instruments; qu'il marche du nerf au muscle; qu'il est en rapport intime avec l'énergie et les modifications physiologiques de la vie; qu'il n'a rien de commun avec les courants électro-chimiques ou thermo-électriques; que les mouvements convulsifs des animaux en accroissent l'intensité, et qu'au contraire la douleur l'affaiblit; qu'on peut observer dans ce courant électrique la même distinction qui existe entre la vie organique et la vie animale, le courant de la vie organique, que ces auteurs nomment *courant cardiaque*, continuant à se produire aussi longtemps que dure la vie organique et après la mort de l'animal.

L'appareil nécessaire aux expériences consiste en un galvanomètre, en deux stylets métalliques en fer, en argent ou en platine, soudés aux extrémités des fils du galvanomètre, et en un animal vivant. Le galvanomètre est isolé, éloigné de toute influence métallique, en particulier de celle du fer ; il est solidement établi et à l'abri de tout choc ou mouvement. A quelque distance du galvanomètre est placé l'animal, dans un coffre en bois ne contenant point de ferrure, et il est mis en contact avec l'instrument de la manière suivante : un des stylets métalliques, qui sont garnis d'un manche isolant, est soudainement plongé dans quelque partie de l'animal vivant, et au même moment on enfonce dans une autre place l'autre stylet également isolé. Le circuit est ainsi formé : il se dégage du torrent électro-vital un courant électrique qui, détourné de ses conducteurs ordinaires par la présence des stylets métalliques, vient passer dans les fils du galvanomètre et indique par la déviation de l'aiguille magnétique son intensité et sa direction.

Indépendamment du courant électro-vital, les auteurs en admettent deux autres dans l'animal vivant, l'électro-chimique et le thermo-électrique. Ils divisent le premier en deux espèces : l'un qui est le résultat de l'action chimique ordinaire des produits et des sécrétions des organes, l'autre qui provient de l'influence chimique de la substance des tissus et des organes,

et qui, s'il n'est pas la cause de la vie, en est du moins l'effet premier et nécessaire. Aussi, si le courant électro-chimique ordinaire se démontre en plaçant les stylets en contact avec les sécrétions ou avec les surfaces des organes humectées, l'autre ne se fait apercevoir qu'en plongeant le stylet dans l'assemblage intérieur des tissus organiques et y excitant par cette profonde blessure une réaction énergique. Ce dernier courant paraît être identique avec celui que les auteurs ont nommé électro-vital ou névro-électrique ; ou du moins s'il existe une différence entre eux, il est pour le moment impossible d'en assigner le caractère. Les courants thermo-électriques dérivent des degrés divers de température des différents organes de l'animal soumis à l'opération ; ils sont l'effet d'une rupture dans l'équilibre de la chaleur, et ne sont par conséquent nullement liés à l'action vitale. Ils sont, au reste, très-faibles, vu le peu de différence que présentent les diverses parties d'un animal, eu égard à leur température.

Les auteurs annoncent avoir toujours mesuré les déviations de l'aiguille du galvanomètre depuis le premier moment où le second stylet était plongé dans l'animal, lorsque le circuit était ainsi fermé ; l'aiguille déviait à l'instant et ne revenait point à sa première position, mais restait stationnaire tantôt à trois, à quatre, à sept, et jusqu'à quinze degrés.

Vingt-sept expériences sont détaillées dans le mémoire, et les résultats sont résumés dans les cinq propositions suivantes :

1° Il y a dans les animaux à sang chaud un courant électro-vital qui est cutané et extérieur, et qui se dirige constamment des extrémités à l'axe cérébro-spinal. L'intensité de ce courant est plus grande avec les stylets de fer qu'avec ceux d'argent.

2° Il y a un courant électro-vital allant de l'axe cérébro-spinal aux viscères, ou si l'on veut, du nerf au muscle. L'intensité de ce courant est accrue par l'usage des stylets de fer.

3° Le courant électro-vital s'affaiblit à mesure que les forces vitales diminuent ; il prend une direction inverse lorsque l'animal est mort.

4° La douleur affaiblit ou arrête le courant électro-vital ; il en change même la direction, si elle est fort intense. Des mouvements convulsifs, automatiques ou volontaires, augmentent au contraire l'intensité du courant.

5° Le courant électro-vital ne paraît pas exister dans les différentes parties du même viscère ; il est très-faible et peut-être nul de viscère à viscère.

Tel est l'ensemble des résultats auxquels les auteurs pensent être arrivés au moyen de leurs expériences ; mais l'appareil, fort simple d'ailleurs, qui leur a servi à constater l'existence de courants dans l'animal vivant, paraît soulever des objections graves. N'est-il pas naturel d'attribuer le courant électrique produit, bien plutôt à l'action chimique des fluides animaux, des acides, du sel marin, par exemple, qu'ils renferment, sur les métaux des stylets qu'à une véritable action vitale ? Et la différence signalée par les auteurs de l'intensité du courant, lorsque dans les mêmes circonstances ils employaient le fer plutôt que l'argent, ne tend-elle pas à rendre l'objection plus forte encore ? Elle subsisterait encore jusqu'à un certain point, même avec l'emploi des stylets de platine, de sorte qu'il nous paraît bien difficile de regarder l'existence de l'électricité animale comme constatée, par le seul fait de courants électriques produits dans les circonstances compliquées dans lesquelles se plaçaient les auteurs du mémoire que nous annonçons.

I. M.



PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES QUI ACCOMPAGNENT LE DÉGAGEMENT DE L'AIR CONDENSÉ ET DE LA VAPEUR COMPRIMÉE, par W.-G. ARMSTRONG. (*Lond. and Edimb. Phil. Mag.*, mai et juillet 1841.)

La recherche des causes qui produisent et qui modifient le développement de l'électricité durant l'émission de la vapeur et de l'air condensé, acquiert une importance réelle par la perspective qu'elle nous offre d'éclaircir certains points obscurs dans la science électrique, et de conduire à l'explication de divers phénomènes météorologiques mal compris jusqu'ici. La nouveauté de ce sujet, et ses rapports avec cet agent mystérieux si répandu, l'électricité, dont la connaissance exacte devient si essentielle pour nos progrès en physique, donne à ces recherches un intérêt tout particulier.

J'ai donc entrepris une nouvelle série d'expériences dont je vais rendre compte; je m'occuperai d'abord de celles qui ont été faites sur l'expansion de l'air, puis ensuite de celles qui ont eu pour objet la vapeur.

J'ai montré dans ma dernière communication :

1° Que j'ai réussi à produire un développement d'électricité en dégageant l'air fortement comprimé d'un récipient isolé d'une grande capacité.

2° Qu'en répétant très-souvent l'expérience, l'électricité qui se montre dans le récipient est en général *négative*, mais quelquefois aussi *positive*.

3° Que l'intensité du dégagement est très-inégale, le récipient donnant quelquefois des étincelles de $\frac{1}{4}$ de pouce de longueur, tandis que d'autres fois, l'électricité était très-faible, parfois même impossible à découvrir.

4° Que l'électricité de l'air chassé a toujours été positive.

5° Que j'ai plus souvent réussi à produire un dégagement d'électricité lorsque le récipient était froid et légèrement humide, que lorsqu'il était chaud et sec.

Il est donc démontré que la température du récipient et la présence de l'eau dans l'intérieur influent puissamment sur le phénomène. Plus ce récipient est froid, plus le dégagement d'électricité est abondant; et si le récipient, parfaitement sec, est chauffé jusqu'à ce qu'on ne puisse plus le toucher avec la main nue, la décharge de l'air cesse tout à fait de produire de l'électricité. Si l'intérieur du récipient est humide, il faut une température plus élevée pour enlever les signes électriques; et si l'on y verse quelques onces d'eau, on peut le chauffer autant qu'on le veut sans empêcher le développement d'électricité ou même sans le diminuer considérablement. Mais à de basses températures la présence de l'eau dans le récipient, ou l'humidité de l'air comprimé, paraît peu contribuer à augmenter les effets électriques. C'est ce que je conclus de l'expérience suivante.

Après avoir complétement desséché l'intérieur du même récipient, j'y introduisis une certaine quantité de potasse dans le but d'absorber l'humidité de l'air condensé, puis j'y comprimai de l'air et le plaçai dans un endroit froid, où je le laissai environ douze heures pour que la potasse eût le temps de produire son effet. Après quoi j'isolai le tout et déchargeai l'air : les effets obtenus furent à peu près les mêmes que si l'on n'eût pris aucune précaution pour enlever l'humidité.

Que le récipient soit sec ou humide, il est nécessaire pour produire le phénomène que la décharge de l'air soit rapide. Les effets sont toujours à leur maximum d'intensité lorsque le robinet est complétement ouvert; et si en ne l'ouvrant qu'en partie l'émission de l'air se prolonge jusqu'à une minute de durée environ, on n'aperçoit aucun signe d'électricité.

Mes premières expériences, dont les résultats étaient si variables, ont été faites par un temps très-froid; mais pendant cel-

les dont je parle maintenant, et dont les résultats ont été plus uniformes, le temps était doux et humide; il m'est pourtant impossible de dire si ces variations, observées d'abord, étaient dues à l'état de l'atmosphère ou à quelque autre cause.

Dans mes dernières expériences l'électricité du récipient a toujours été négative, et son intensité n'a pas beaucoup varié. Si le récipient n'était pas isolé, l'électricité de l'air sortant était toujours positive; mais s'il était isolé, on remarquait fréquemment, surtout s'il n'était pas sec à l'intérieur, que les feuilles d'or de l'électroscope communiquant avec le conducteur pointu qui recevait l'électricité du jet d'air, se séparaient en se chargeant d'électricité *positive*, puis se rapprochaient, et divergeaient de nouveau chargées d'électricité *négative*. Il est assez probable que cet effet doit être attribué à quelque communication conductrice qui s'établissait entre le récipient isolé et le conducteur au moyen de molécules d'eau lancées avec l'air; seulement, si c'est le cas, le conducteur pointu n'aurait pas dû conserver son électricité, comme cela arrive toujours même lorsque le récipient n'est pas isolé.

Quelquefois le développement de l'électricité n'a lieu que lorsque l'air est presque complétement déchargé, et alors les boules de sureau suspendues au récipient, ainsi que les feuilles d'or de l'électroscope qui communique avec le conducteur, s'écartent subitement, et cette action est accompagnée d'un son particulier indiquant le jet de quelques gouttes d'eau hors du tube dans lequel passe l'air. Il serait intéressant de reconnaître si ce curieux son serait identique avec celui que le docteur Schafthaeutl affirme accompagner le développement d'électricité dans ses expériences sur la vapeur qui sort du digesteur de Marcet. Cependant ce son a souvent lieu après que l'électricité a paru, mais il est toujours le signal qui annonce la divergence des lames de l'électroscope, si elle n'a pas encore eu lieu. Je n'ai pas encore observé de bruit semblable dans aucune de mes expériences sur la vapeur.

Il m'est tout à fait impossible de donner l'explication de ces singuliers phénomènes. On sait bien qu'une abondante précipitation de vapeur, et une forte évaporation, sont les effets simultanés de la dilatation soudaine de l'air condensé, la précipitation étant causée par le froid extrême que produit l'expansion, et l'augmentation d'évaporation étant due à la diminution de la vapeur transparente contenue dans l'air ; c'est en effet à l'action de ces deux principes que je fus tenté d'abord d'attribuer les effets en question, conjecturant que le changement qu'avait présenté le récipient quant à la nature de l'électricité, pouvait provenir de la prédominance tantôt de l'évaporation, tantôt de la précipitation. L'influence remarquable de la chaleur et de l'humidité, et l'effet d'une décharge lente qui doit empêcher la précipitation, semblent montrer le rapport qui existe entre ces faits, et l'un des principes que j'ai indiqués ; mais je trouve tant de difficultés à rendre compte des divers effets observés récemment, en les rapportant à l'une de ces causes, ou même à toutes les deux, qu'il m'est impossible pour le moment d'asseoir mon opinion sur ce sujet.

J'arrive maintenant à la seconde partie de ce travail, et je vais commencer par décrire l'appareil d'évaporation que j'ai employé.

Cet appareil a été construit sous ma direction dans le but spécial de faire les expériences, pour lesquelles il est beaucoup plus convenable que la chaudière d'une machine à vapeur, quoique pourtant, vu la petitesse de ses dimensions, il ne puisse pas donner des effets aussi brillants. Il est formé principalement d'une forte chaudière cylindrique, et d'un fourneau dans lequel elle est placée verticalement, de telle manière qu'elle est exposée de tous côtés à la chaleur du foyer. La chaudière a 30 pouces de profondeur et 4 pouces de large ; elle est faite d'un alliage de cuivre et d'étain, appelé ordinairement *métal des canons*, et le couvercle est pourvu d'une soupape de sûreté graduée. Le fourneau est porté sur de forts pieds de verre pour

l'isoler. Un tube de cuivre qui part du couvercle de la chaudière entre dans le fourneau, y serpente plusieurs fois, puis en ressort latéralement et se termine par un robinet. C'est là que sort le jet de vapeur, après avoir été desséché en passant ainsi dans le tube chaud. Le tube de cuivre est facile à enlever en entier, et l'on peut le remplacer par un simple tube de verre. J'ai employé du coke pour combustible.

Cet appareil a donné relativement à son petit volume des effets assez considérables. Lorsque l'évaporation était d'environ un gallon par heure, et la pression de 100 livres par pouce carré, il était facile de charger dans deux minutes une bouteille de verre mince d'une pinte environ, et assez fortement pour donner un choc vigoureux. J'ai reconnu que la meilleure manière de charger la bouteille était de mettre simplement le bouton en contact avec la chaudière ou le fourneau isolé, car je recueillais toujours ainsi beaucoup plus d'électricité qu'en la chargeant avec le jet de vapeur.

Je m'attendais que, conformément à toutes les anciennes expériences, l'électricité du vase évaporatoire serait toujours négative, et celle du jet de vapeur toujours positive ; mais je découvris bientôt, à ma grande surprise, que dans de certaines conditions l'état électrique de la chaudière et du jet de vapeur était inverse du précédent.

Pour qu'on ne suppose pas mon observation erronée sur ce fait, il me semble nécessaire de dire que j'étais très-peu disposé à croire que la vapeur lancée pût, dans aucune circonstance, donner de l'électricité négative, d'autant plus que ce fait était diamétralement opposé à la théorie que j'ai avancée dans un autre mémoire pour expliquer les phénomènes électriques du jet de vapeur, et que je n'ai été convaincu de la réalité du changement qu'après un grand nombre d'expériences, et après avoir employé divers moyens d'observation qui me donnaient tous le même résultat dans chaque cas.

J'ai fait de nombreuses expériences pour déterminer sous

quelles conditions le changement a lieu, et je suis porté à croire que l'état calorifique de la portion de la chaudière contenant la vapeur est au moins l'une des causes de ces effets. La construction du fourneau permet, en fermant la porte latérale, d'opérer un grand accroissement de température au haut de la chaudière, là où se trouve la vapeur, et alors presque toujours l'électricité négative de la chaudière ainsi que la positive de la vapeur commencent à diminuer, disparaissent ensuite en entier, puis la positive paraît dans la chaudière et la négative dans le jet de vapeur. La diminution de l'eau dans la chaudière favoriserait naturellement aussi l'accumulation de chaleur dans le haut de la chaudière, et cette circonstance est très-propre au changement des électricités. Je crois pourtant qu'il y a d'autres causes qui déterminent les variations des signes électriques, mais il faut de nouvelles expériences avant d'avoir une opinion arrêtée sur ce point.

Passons maintenant aux effets de pression, d'abord lorsque le nuage de vapeur donne de l'électricité positive, puis dans le cas inverse.

Dans les expériences faites pour déterminer l'intensité comparative de l'électricité dégagée par la vapeur à différentes pressions, il est essentiel qu'il sorte dans le même temps des *poids* égaux de vapeur, et non des *volumes* égaux ; et pour obtenir cette condition, il est nécessaire que l'ouverture par laquelle la décharge a lieu soit diminuée dans la même proportion que la pression augmente et réciproquement. La soupape de sûreté est sous ce rapport un appareil qui se règle de lui-même, parce qu'il permet la sortie de la vapeur en quantité précisément égale à la production, laquelle avec un feu uniforme est la même à toute pression. Une autre chose nécessaire pour ces expériences, c'est que la vapeur sorte toujours au même état de sécheresse. Si l'on emploie un feu violent, la décharge à de basses pressions est si volumineuse, qu'elle est très-propre à projeter

de l'eau non vaporisée, ce qui doit dissiper l'électricité, et la conduire à la soupape.

En me servant donc de la soupape de sûreté pour régulariser la sortie de la vapeur, et en maintenant le feu uniforme et modéré, je pus obtenir des jets égaux de vapeur sèche, sous des augmentations successives de pression; et voici les résultats que j'ai obtenus, lorsque la vapeur donne de l'électricité positive.

J'enlevai d'abord la soupape et laissai sortir la vapeur sans aucun obstacle; mais je ne pus alors découvrir aucun autre signe d'électricité que celui que l'on doit attribuer au foyer, qui produit toujours, dans les appareils d'évaporation, assez d'électricité pour agir sur les feuilles d'or de l'électroscope lorsqu'on se sert d'un plateau condenseur. Puis je replaçai la soupape, et lorsque la pression surpassait à peine une livre par pouce carré, les lames d'or de l'électroscope en contact avec la chaudière donnaient le premier signe d'électricité qu'on pût distinguer de l'électricité qui était produite par la combustion. La plus légère addition à la pression produisait un accroissement excessif, et à trois livres par pouce carré on put tirer de petites étincelles à raison de 5 à 6 par minute. Ensuite chaque accroissement successif de pression a produit une augmentation d'électricité moins forte que le précédent. Je pourrais dire que l'électricité manifestée sous la pression de trois livres par pouce carré ne fut doublée que lorsque la pression arriva à 15 livres par pouce carré, triplée qu'à 50 livres, quadruplée qu'à 120 livres, et que lorsque la pression arriva à 250 livres par pouce carré (la plus forte que j'osai faire supporter à l'appareil), l'électricité de la chaudière me parut être seulement cinq fois plus forte que lorsque la pression n'était que de trois livres par pouce. Tels sont les résultats que j'ai obtenus; mais comme les causes qui tendent à produire les états électriques opposés de la chaudière et de la vapeur n'étaient probablement pas concordantes dans ces expériences, les effets auraient pu être différents, si l'appareil avait été construit de manière à être plus ou moins fa-

vorable à l'action de ces causes. Le peu d'énergie de l'électricité dégagée par la vapeur lancée du fusil de Perkins[1], est dû probablement à quelque action contrariante de la nature de celles que j'ai mentionnées, et la variation qui a été observée dans l'intensité des effets électriques produits par la vapeur lancée sous les mêmes pressions de différentes chaudières à vapeur, peut être expliquée par le même principe.

Lorsque les circonstances sont de nature à rendre les états électriques de la chaudière et de la vapeur inverses de ce qu'ils sont à l'ordinaire, les effets de pression sont extrêmement difficiles à saisir.

La plus basse pression à laquelle j'ai pu découvrir de l'électricité positive dans la chaudière, est tout à fait la même que celle à laquelle la négative s'était montrée, et un accroissement de pression jusqu'à 30 livres environ par pouce carré, a augmenté l'intensité du développement, dans le même rapport en apparence que lorsque la chaudière était négative; mais à partir de là d'autres accroissements successifs de poids sur la soupape donnèrent des résultats très-variables, augmentant quelquefois l'électricité dégagée, d'autrefois la diminuant. Mais la circonstance la plus remarquable est qu'une augmentation considérable de pression a toujours produit dans la chaudière d'abord un retour temporaire à l'électricité négative, lequel durait une minute ou deux, puis un nouveau retour de la positive. Je présumai que ce curieux effet était causé par la vapeur et l'eau, qui acquièrent une température plus élevée que le métal du haut de la chaudière, de telle sorte que lorsque l'on

[1] Je pense que l'on a déterminé si la vapeur du fusil de Perkins est positive ou négative; mais si l'on ne l'a pas encore fait, je recommande d'exécuter cette expérience, et je pense qu'il est possible que cette électricité soit *négative*; surtout si la pression est un peu diminuée et si la vapeur ne s'échappe pas très-rapidement. La condensation qui doit se faire dans le canon est peu favorable au développement de l'électricité, et la vapeur doit donc être autant que possible déchargée par quelqu'autre moyen.

atteint de nouveau le point d'ébullition qui correspond à la charge de la soupape, le métal en contact avec la vapeur n'est pas d'abord assez chaud pour renverser l'état électrique naturel de la chaudière. Si cette manière de voir est exacte, il s'ensuit que le degré de chaleur qui est nécessaire dans le métal pour rendre la chaudière positive, est en rapport avec le point d'ébullition de l'eau et la température de la vapeur.

Lorsque la pression est considérable, la tendance négative du jet de vapeur est fortement augmentée par le passage de la vapeur au travers du tube de cuivre, tellement même que je pus souvent obtenir du tube un jet de vapeur négatif, en même temps que j'en recevais un autre positif de la soupape. Mais à de basses pressions l'effet du passage de la vapeur au travers du tube fut plutôt l'inverse de celui que j'ai mentionné ; je ne sais donc pas si on doit regarder ce résultat comme favorable ou contraire à l'action que j'ai attribuée au métal chauffé.

Les effets les plus énergiques furent obtenus lorsqu'on déchargea la vapeur au travers d'un tube de verre court, fixé à la chaudière. Si le tube est long, il s'opère dans l'intérieur une forte condensation, ce qui diminue beaucoup l'électricité du jet. L'électricité est, en général, plus faible quand la chaudière est positive et le jet négatif, que lorsqu'ils sont dans l'état contraire, ce qui est l'ordinaire.

L'état neutre de la vapeur dans la chaudière, que le jet de vapeur soit positif ou négatif, est clairement démontré par cette circonstance que l'électricité du jet n'est point diminuée par le passage de la vapeur le long du tube de cuivre, qui a 10 pieds de long et seulement $\frac{3}{8}$ de pouce de diamètre.

L'intensité remarquable du développement électrique qui accompagne l'émission de la vapeur à haute pression, et le fait que la portion supérieure et dilatée du jet est plus fortement électrisée que la partie inférieure et non dilatée, sembleraient favoriser la supposition que le développement de l'électricité dans le nuage de vapeur dépend de la *dilatation* de cette vapeur. J'ai

déjà fait connaître, dans mes communications précédentes, diverses raisons pour rejeter cette hypothèse ; mais désirant éloigner toute espèce de doute à cet égard, j'ai eu recours au moyen suivant pour m'assurer du fait. Au robinet latéral qui termine le tube de cuivre, je fixai un cylindre métallique, maintenu suffisamment chaud pour empêcher toute condensation de vapeur au-dedans, et percé à l'extrémité d'une multitude de petits trous, au travers desquels la vapeur, après son expansion dans le cylindre, s'échappait avec une densité à peu près égale à celle de l'atmosphère. Maintenant si l'*expansion* eût pu produire le développement de l'électricité, la vapeur serait devenue électrique dans le cylindre, et se serait séparée de son électricité en passant au travers des petits trous, et ainsi le nuage de vapeur serait devenu neutre; mais, au lieu de cela, je ne pus découvrir aucune diminution dans l'électricité, lorsque la vapeur fut placée dans ces nouvelles circonstances. Nous pouvons donc admettre avec confiance que la formation de l'électricité dans le jet ne provient pas de l'expansion, et que, bien que l'intensité de l'électricité développée soit fortement influencée par la pression, elle est tout à fait indépendante de la densité de la vapeur projetée.

La précipitation de la vapeur paraît donc être la seule cause à laquelle on puisse attribuer l'électricité du jet. Si l'on regarde cette conclusion comme exacte, la question qui vient naturellement après est celle-ci : la précipitation de la vapeur donne-t-elle naissance à l'électricité du vase évaporatoire, ainsi qu'à celle du nuage de vapeur? ou bien l'électricité manifestée par la chaudière, est-elle l'effet de l'évaporation ou de quelque autre cause distincte de celle qui produit l'électricité dans le jet? L'état neutre de la chaudière, lorsque la vapeur est renfermée, semble démontrer que la même cause qui produit l'électricité dans le jet, crée aussi l'électricité opposée dans le vase évaporatoire. J'essayai de résoudre la question, quant à ce qui regarde l'action de l'évaporation, en déchargeant la

vapeur qui, de temps en temps, restait dans la chaudière, après que toute l'eau était évaporée; et la chaudière fut toujours électrisée, pourvu que la pression de la vapeur fût considérable. La cessation de toute sortie de vapeur par la soupape était la seule indication que je possédasse de la parfaite sécheresse de la chaudière, et si l'on peut se fier à ce signe, on doit inévitablement en conclure que l'électricité qui est produite dans le vase évaporatoire par l'émission de la vapeur, est indépendante de l'évaporation concomitante. Il faut observer ici que l'électricité qui a paru dans la chaudière après que l'eau en a été chassée, ainsi qu'un peu avant, a toujours été *positive.*

D'après ces circonstances, je pense qu'il y a certainement des raisons pour supposer que la même cause qui dégage l'électricité dans le nuage de vapeur, produit aussi l'électricité contraire de la chaudière ; mais s'il en est ainsi, je ne crois pas qu'il existe aucun principe qui explique les effets décrits, surtout puisque l'électricité de la chaudière paraît tout à fait indépendante de la proximité du jet.

Le changement qui s'opère dans certaines conditions, entre l'état électrique de la chaudière et celui du jet, est difficile à expliquer. Quel changement la vapeur peut-elle subir dans la chaudière, par le contact avec le métal chaud, ou par quelque autre cause qui l'oblige à dégager, en se condensant, l'électricité opposée à celle qu'elle donne ordinairement ?

Les effets de pression paraissent aussi inexplicables. Il me semble inconcevable que la vapeur puisse, par la pression, acquérir une propriété qui ne soit pas enlevée par l'expansion; et cependant nous avons vu que l'influence de la pression sur l'électricité du jet n'est pas détruite par la facilité que l'on donne à la vapeur de se dilater avant sa sortie.

Cette communication est déjà longue, je la termine ici en exprimant le désir que d'autres personnes s'occupent avec zèle de ce genre de recherches qui présente un véritable intérêt.

En continuant plus tard mes expériences sur ce sujet, je remarquai que la tendance du nuage de vapeur à donner de l'électricité *négative* au lieu de la positive, augmenta graduellement à mesure que je m'étais plus longtemps servi de l'appareil, jusqu'à ce qu'enfin l'électricité positive ne parut plus que rarement dans le jet, même lorsque les circonstances étaient le plus souvent favorables à son développement.

Présumant que cette prédominance graduelle de l'électricité négative pourrait peut-être provenir de l'oxidation progressive du métal en contact avec l'eau, j'examinai l'intérieur de la chaudière; mais aucun changement ne me parut s'être opéré à la surface du métal, que je trouvai dans l'état brut que présente toujours la fonte moulée. Je lavai bien cette chaudière avec de l'eau, mais je trouvai, en recommençant l'expérience, que l'électricité de la vapeur était restée négative comme avant. Après cela je la lavai avec une solution de potasse, et j'eus l'agréable surprise de trouver que l'électricité positive du jet était complétement revenue. Ce résultat curieux me conduisit à essayer l'effet que produirait l'addition d'une petite quantité de potasse à l'eau qui engendrait la vapeur, et, en effet, par ce moyen la quantité d'électricité fut considérablement augmentée; tellement même que je pus obtenir, avec l'appareil décrit précédemment, plus de trente étincelles de demi-pouce de longueur, par minute.

Ayant ainsi découvert un cas dans lequel l'électricité est si fortement modifiée par la substance contenue dans l'eau, je voulus essayer l'effet de quelques autres substances, et j'obtins les résultats suivants :

La soude produit le même effet que la potasse, elle rend aussi positive l'électricité de la vapeur, mais d'une manière moins énergique. Une faible quantité d'acide nitrique produisit l'effet contraire, et rendit la vapeur négative. L'acide hydrochlorique ne produisit pas d'influence sensible, non plus que l'acide sulfurique, même lorsque la chaudière contenait

de la limaille de fer. La chaux rendit la vapeur positive, mais faiblement. Le sel ordinaire parut être sans effet. Le nitrate de cuivre rendit la vapeur négative, à peu près comme l'acide nitrique.

La potasse, la soude ou la chaux employées en excès eurent toujours pour effet de produire un jet de vapeur mêlé d'eau, et toutes les fois que cela eut lieu, l'électricité, ou cessa entièrement, ou devint extrêmement faible. Il m'est donc impossible de comprendre comment il a pu arriver au Dr Schafthaeutl d'obtenir davantage d'électricité lorsque la vapeur émise se trouve mélangée d'eau.

D'après les effets puissants que j'ai obtenus lorsque l'eau de la chaudière contient un peu de potasse, je suis presque sûr qu'un appareil vaporo-électrique, convenablement construit, rendrait tous les services d'une machine électrique ordinaire. Mon appareil est petit et imparfait; si l'on eût évité dans sa construction les angles vifs, les pointes, les aspérités, ses effets auraient été indubitablement beaucoup plus énergiques qu'ils ne le sont. La chaudière, pour laisser une place suffisante à la vapeur, ne peut contenir au plus qu'un gallon d'eau; mais un appareil qui contiendrait dix gallons ne serait point extraordinairement large; et en augmentant proportionnellement sa surface de chauffe, il donnerait dix fois plus de vapeur, et par conséquent dix fois plus d'électricité que mon appareil. Il n'est nullement besoin de conserver la forme que j'avais adoptée, et qui me convenait surtout à cause de sa force. L'expérience a démontré qu'il n'y a pas grand'chose à gagner en comprimant la vapeur au-dessus de 60 à 70 livres par pouce carré, et une chaudière construite de manière à résister à cette pression serait suffisamment forte; on peut se dispenser du tube de cuivre enroulé autour de l'appareil, car j'ai toujours obtenu les effets les plus énergiques en déchargeant la vapeur au travers d'un tube de verre de 6 à 8 pouces de long. Il est important que l'appareil soit isolé, parce qu'il est beaucoup plus facile de

recueillir l'électricité de la chaudière que celle du jet. La vapeur ne doit pas être déchargée plus rapidement qu'elle n'est produite, parce que la diminution de la pression affaiblit toujours l'électricité dans un rapport beaucoup plus rapide que le simple décroissement de la densité, et de plus elle change souvent la nature de l'électricité du jet, la rendant négative de positive qu'elle était. Je trouve que la manière la plus commode de me servir de mon appareil est de le placer en dehors de la porte, et d'amener l'électricité dans la maison au moyen d'un fil. Si cependant la vapeur était déchargée horizontalement, on pourrait la projeter dans la cheminée ou hors de la fenêtre, et l'inconvénient de placer l'appareil en dedans de l'appartement serait en grande partie levé.

Le Dr Ure, qui a vu la plupart des expériences que j'ai décrites, m'a suggéré une méthode pour remplir la chaudière sans épuiser la vapeur. Il propose d'adapter à la chaudière un vase cylindrique, de dimensions convenables, muni d'un robinet en haut pour recevoir l'eau, et d'un autre en bas pour communiquer avec la chaudière. En fermant le robinet supérieur, lorsque le vase est plein d'eau, puis ouvrant l'inférieur, l'eau passerait dans la chaudière sans permettre aucune fuite de vapeur. Si quelqu'un voulait construire un appareil vaporo-électrique, je lui recommanderais cet arrangement.

La production de l'électricité par la vapeur présente plusieurs avantages importants comparativement à la méthode employée d'ordinaire pour dégager le fluide électrique. Un appareil vaporo-électrique agit de lui-même, ce qui laisse à l'opérateur une liberté parfaite pour les résultats. Sa température élevée rend son action indépendante de l'humidité de l'atmosphère, qui diminue si notablement l'énergie d'une machine électrique, et son extrême simplicité le met à l'abri des altérations et des dérangements.

NOTICE SUR QUELQUES EFFETS OBTENUS AVEC UNE PUISSANTE BATTERIE A FORCE CONSTANTE, par J.-F. DANIELL. (*Extrait.*)

Cet article, communiqué le 30 mai 1839 à la Société royale de Londres, contient des expériences semblables à quelques-unes de celles que j'ai publiées dans le précédent numéro[1]. Je tiens donc à les faire connaître, afin d'assurer à leur auteur la priorité qui lui est légitimement due.

La pile dont M. Daniell fit d'abord usage était composée de vingt couples, formés chacun d'un grand cylindre en cuivre, rempli de sulfate de cuivre, avec un sac de vessie plein d'acide sulfurique étendu, dans lequel plongeait le zinc. L'auteur détermina, avec un voltaïmètre rempli d'un mélange de huit parties d'eau et d'une d'acide sulfurique, la quantité de gaz produite par l'effet d'un plus ou moins grand nombre de couples disposés soit en séries, soit parallèlement. Il obtint le maximum d'effet, soit vingt pouces cubes de gaz par minute en disposant les vingt couples en deux séries parallèles, c'est-à-dire en formant une pile de dix couples ayant chacun une surface double ; les vingt couples disposés en série ne donnaient que 17 $\frac{1}{2}$ p. c.

Pour obtenir les effets de chaleur et de lumière à un haut degré d'intensité, Mr. D. disposa en série 70 couples de même grandeur que les précédents, et chargés de la même manière. Les sacs de vessie avaient été remplacés par des vases en terre poreuse, qui ne présentaient guère plus de résistance au cou-

[1] Archives de l'Electricité (supplément à la Bibl. Univ.) n° 1, p. 262.

rant que les membranes et étaient d'un usage beaucoup plus commode.

Le voltaïmètre ne donnait que 17 p. c. de gaz par minute, et à peine voyait-on sur les électrodes quelques bulles de gaz quand le courant traversait l'eau distillée.

Par contre, l'arc lumineux entre les pointes de charbon était magnifique, et long de trois quarts de pouce; cette longueur ne paraissait pas être plus considérable sous le vide. La lumière était si intense qu'elle fit, sur la figure des assistants, le même effet qu'aurait produit l'exposition pendant plusieurs heures au soleil brûlant de l'été. Le transport du charbon avait lieu en abondance du pôle positif au négatif, une cavité se formait à l'extrémité du charbon positif, et des grains durs de charbon s'accumulaient au pôle négatif. Si l'on substituait du platine au charbon placé au pôle négatif, c'était sur le platine que se déposaient les particules de charbon ; si, au contraire, le platine était au pôle positif et le charbon au négatif, on voyait des particules de platine transportées sur le charbon négatif. Ce transport est tout à fait semblable à celui qu'a observé Fusinieri, soit avec les décharges des bouteilles de Leyde, soit avec l'électricité de la foudre.

L'arc lumineux ne pouvait s'établir entre les deux conducteurs qui communiquaient avec les pôles, avant qu'ils eussent été en contact l'un avec l'autre, quelque rapprochés qu'ils pussent être. Même en les faisant rougir, au moyen d'un chalumeau, on ne déterminait point l'arc lumineux entre eux. L'auteur, à l'instigation de sir J. Herschel, essaya de faire passer de l'un de ces conducteurs à l'autre l'étincelle d'une petite bouteille de Leyde ; aussitôt le courant fut établi et ces deux conducteurs, qui étaient de petites boules en laiton, furent brûlés. N'est-il pas probable que, dans ce cas, la décharge de la bouteille de Leyde transportait la matière conductrice nécessaire pour que la flamme voltaïque pût s'établir, et que ce transport une fois commencé la puissance du courant le maintenait?

Différentes expériences furent faites sur l'action de l'aimant sur l'arc lumineux : elles constatèrent toutes l'existence de cette action et même celle du globe terrestre. On employa le même courant qui donnait naissance à l'arc lumineux, à aimanter un fer doux qui agissait sur cet arc.

L'auteur répéta avec succès l'expérience de Mr. Gassiot, dans laquelle on fait passer l'arc lumineux entre deux fils de platine qui se croisent; l'extrémité du fil qui communique avec le pôle positif devient incandescente, tandis que l'extrémité du fil négatif demeure comparativement froide.

Les métaux les plus infusibles furent fondus en mettant au pôle positif un morceau de charbon très-dur, tel qu'on le retire des cornues qui servent à préparer le gaz de la houille, et dans lequel on avait creusé une cavité où l'on plaçait le métal.

Enfin Mr. Daniell expose, en terminant, quelques expériences qu'il a tentées et sur lesquelles il reviendra, pour déterminer l'influence de la compression sur le développement gazeux opéré par le courant. Il a trouvé qu'on pouvait, sans arrêter le dégagement du gaz, réduire le volume qu'aurait dû occuper le mélange gazeux sous la pression ordinaire à $\frac{1}{56}$, ce qui équivaut à une pression de 840 livres par pouce carré. Il a tenu compte, dans cette réduction, de la partie des gaz que l'eau devait dissoudre sous cette forte pression.

A. DE LA RIVE.

DE LA RÉSISTANCE QU'ÉPROUVENT LES COURANTS DANS LEUR PASSAGE A TRAVERS LES DIAPHRAGMES MÉTALLIQUES INTERPOSÉS DANS LES LIQUIDES CONDUCTEURS.

Cette résistance existe-t-elle par elle-même, ou est-elle un effet des dépôts que le courant détermine sur les diaphragmes et qui donnent naissance aux polarités secondaires? Telle est la question que Mr. Poggendorff examine dans un long mémoire, et qu'il résout négativement, tandis que Mr. Vorsselman de Heer la résout affirmativement. J'avais étudié cette même question dans le travail qui a été inséré dans le précédent numéro, et mon opinion était contraire à celle de Mr. Poggendorff, qui n'a pas eu connaissance de mes recherches avant de publier les siennes, celles-ci ayant paru en même temps. — Je comptais insérer le mémoire de Mr. Poggendorff, celui de Mr. Vorsselman de Heer et mes propres observations sur le même sujet, dans le présent numéro; mais l'étendue de ces mémoires m'oblige d'en renvoyer l'insertion dans le numéro suivant, qui paraîtra très-incessamment. — On pourra juger par la lecture de ces différents travaux, si le savant physicien allemand, Mr. Poggendorff, n'est pas un peu prompt à tirer de ses propres expériences, dont l'exactitude il est vrai ne laisse rien à désirer, des conséquences générales qui ne cadrent pas toujours avec les résultats qu'ont obtenus les autres physiciens, et dont Mr. Poggendorff conteste alors un peu trop facilement la vérité.

Du reste, que la résistance au passage soit due aux dépôts provenant de la décomposition ou à une force *sui generis*, le phénomène, lorsqu'il s'agit des courants continus, n'en sub-

siste pas moins, et n'en est pas moins soumis à des lois remarquables.

La grande question est celle-ci : L'effet des diaphragmes métalliques placés dans un liquide conducteur sur la route des courants, est-il analogue à l'effet des écrans transparents ou diathermanes sur la lumière ou le calorique rayonnant qui se meuvent dans l'air ? Or c'est à cette analogie que je ne crois plus, après avoir cherché l'un des premiers à l'établir. Il y a dans l'effet des diaphragmes sur les courants un phénomène chimique qui tient à ce que le liquide conducteur est décomposé, circonstance qui n'a nullement son analogue dans les phénomènes du même genre que présentent la lumière et le calorique.

Nous reviendrons incessamment sur ce sujet, qu'il nous est interdit de traiter en détail aujourd'hui.

A. DE LA RIVE.

DE LA RÉALITÉ DE LA RÉSISTANCE QU'ÉPROUVE LE PASSAGE DU COURANT DANS LES PILES HYDRO-ÉLECTRIQUES, par F.-C. POGGENDORFF. Mémoire lu (avec moins de développements) à l'Académie des Sciences de Berlin, le 18 janvier et le 15 mars 1841. (*Ann. der Physik und Chemie,* t. LII, p. 497.) [1]

Mr. Poggendorff commence, dans ce Mémoire, par remarquer que la résistance qu'éprouve le courant à passer à travers des conducteurs alternativement solides et métalliques a été démontrée pour la première fois par Fechner dans son ouvrage publié en 1832 et intitulé : *Maasbestimmungen über die galvanische Kette*. De la Rive et Marianini avaient bien auparavant établi l'existence de cette résistance, à la suite de recherches analogues à celles que Ritter avait faites dans son travail sur les piles secondaires bien longtemps auparavant. Mais, selon Mr. P., ces deux physiciens n'avaient, pas mieux que Ritter, distingué dans les effets qu'ils avaient observés, ce qui est dû à la résistance elle-même, de ce qui provient de la polarisation

[1] Le Mémoire de Mr. Poggendorff est relatif à un sujet dont je me suis souvent occupé; il a pour objet l'étude de phénomènes que j'ai également étudiés dans un Mémoire qui a paru dans le n° 1 des Archives de l'Electricité. On comprend donc que ce nouveau travail du savant physicien allemand soit pour moi d'un grand intérêt. Je me suis empressé de le reproduire presque textuellement, sauf la première partie qui est une espèce d'introduction dont je me suis contenté de faire un extrait. J'ai également inséré à la suite du Mémoire quelques observations que j'ai peu développées, comptant revenir moi-même incessamment sur ce sujet. (A. DE LA R.)

qu'éprouvent les métaux par l'effet de la décomposition électro-chimique des liquides interposés. Fechner a établi cette distinction ; le premier, il a cherché à déterminer par des mesures rigoureuses la part proportionnelle qu'a chacune des deux causes que nous venons d'indiquer, dans l'affaiblissement qu'éprouve un courant par l'interposition des plaques intermédiaires. Il a fait voir que, déjà sans les plaques intermédiaires et immédiatement après que le circuit est fermé, on peut démontrer l'existence de la résistance au passage, vu que la résistance totale est toujours plus grande que ne le sont les résistance du métal et du liquide prises ensemble. Enfin il a démontré que la résistance au passage est dans un rapport inverse avec la grandeur de la surface métallique immergée dans le liquide, qu'elle varie suivant la nature des métaux et des liquides, et augmente à mesure que la force de la pile ou (ce qui revient au même) du courant diminue.

On a été généralement peu disposé en Allemagne, à admettre les résultats de Fechner, ce qui tient probablement à ce que ce physicien ne les a pas tirés d'expériences directes, mais qu'il les a déduits, au moyen de la formule de Ohm, de phénomènes complexes. Non-seulement ceux qui ne connaissaient pas cette formule, mais Ohm lui-même, ont refusé de croire à la résistance pure au passage, et ont continué à ne voir dans ce phénomène qu'un effet de polarisation des métaux. Telle a été particulièrement la thèse soutenue par Ohm dans un long Mémoire publié en 1832. Fechner a répondu aux arguments de Ohm par de nouvelles recherches et de nouvelles considérations ; il s'est principalement appuyé sur le fait que la résistance qui existe dans la pile change avec le temps, et qu'elle croît constamment et à mesure que l'intensité du courant diminue. Il a tiré de ce fait, ainsi que de l'analyse des causes qui déterminent la diminution qu'éprouve avec le temps la force d'une pile galvanique, la conclusion qu'il existe réellement, indépendamment de l'effet dû à la polarisation, une résistance positive

pour le courant quand il traverse des conducteurs alternativement métalliques et liquides.

Tout récemment Mr. Vorsselman de Heer, dans un travail intitulé : *Recherches sur quelques points de l'électricité voltaïque*, a cherché à montrer que la diminution d'intensité du courant dans une pile voltaïque est déterminée par une polarisation des plaques, mais il ne démontre pas que cette polarisation soit la seule cause à la résistance de conductibilité. Il tire sa principale objection d'une expérience de Mr. de la Rive. Cette expérience est décrite dans un Mémoire *sur les propriétés des courants magnéto-électriques* que Mr. de la Rive a publié en 1837, et qui a pour but de montrer que l'électricité magnétique est une électricité *sui generis*, différente des électricités d'autre origine, comme la lumière rouge diffère de la jaune et de la bleue [1]. L'expérience consiste à faire passer les courants alternativement contraires d'une machine de Saxton dans un liquide où l'on interpose et n'interpose pas alternativement un diaphragme métallique, et à s'assurer, en observant dans les deux cas la température d'une partie du circuit, si le courant change ou non d'intensité suivant que le diaphragme est ou n'est pas interposé. Avec un courant du genre de celui dont il s'agit, il ne peut y avoir de polarisation de quelque importance, puisque chaque courant partiel a une direction opposée à celle du courant qui le suit et le précède, et que par conséquent la polarisation produite par l'un est détruite par l'autre. La direction du courant changeant 27 fois dans une seconde, il est facile de montrer, par un petit calcul très-simple, que le dernier des courants partiels qui, dans le cas où il serait d'un ordre impair, n'en aurait point d'opposé pour détruire son effet, ne pourrait produire que $\frac{1}{400}$ de l'effet auquel donne-

[1] J'ai déjà répondu dans un précédent Mémoire (Archives de l'Electricité t. I, p. 175) à cette manière d'interpréter le travail auquel Mr. Poggendorff fait allusion. (A. DE LA R.)

rait naissance un courant de même intensité dont la durée serait de $\frac{1}{4}$ de minute. Quant à la résistance passive qui ne provient pas de la polarisation, il ne paraît pas qu'elle doive être influencée par la direction du courant. Par conséquent si, dans l'expérience rapportée ci-dessus, il se manifeste une diminution dans la force du courant après l'interposition de la plaque, c'est une preuve de l'existence de la *résistance au passage;* si, par contre, l'intensité du courant n'éprouve pas de changement, c'est un signe que la *résistance au passage n'existe pas du tout,* ou du moins qu'elle ne peut exister sans une polarisation concomitante.

Les résultats qu'a obtenus Mr. de la Rive sont en faveur de cette dernière alternative, quoiqu'il ne tire pas cette conclusion de ses expériences. C'est sur eux que Mr. Vorsselman a fondé sa principale objection à la résistance au passage.

Mr. Poggendorff qui avait des motifs particuliers de douter de l'exactitude de ces résultats, avait déjà reconnu précédemment qu'il y a résistance au passage, par une expérience directe qui consistait à introduire dans le circuit du courant magnéto-électrique deux ou trois couches liquides séparées par des plaques métalliques. Il a repris ce sujet et a cherché à déterminer, par une série d'expériences décisives, ce qu'il en est réellement de cette résistance au passage. Il s'est efforcé, dans ce but, à faire autant que possible son travail de la même manière que Mr. de la Rive avait fait le sien, afin que les résultats fussent mieux comparables entre eux.

Voici les appareils qui ont été employés par Mr. Poggendorff.

1° Une machine de Saxton pour produire un courant magnéto-électrique dirigé alternativement en sens contraire.

2° Un thermomètre à air dont la boule était traversée par un fil de platine très-fin, qui donnait passage au courant et était échauffé par lui. L'auteur s'est servi de deux de ces thermomètres, l'un plus gros, l'autre plus petit. Ils ne sont point destinés à donner des mesures exactes, mais ils indiquent le

plus ou moins de force du courant et l'égalité de cette force dans les mêmes circonstances.

3° Un support destiné à tenir à la même distance l'une de l'autre, les plaques qui transmettent les courants dans le liquide.

4° Une caisse rectangulaire en bois garnie de cire, destinée à renfermer le liquide, et qui peut se partager en deux portions, qu'on rapproche hermétiquement l'une de l'autre au moyen de vis, et entre lesquelles on peut loger une lame métallique quand on veut introduire un diaphragme métallique dans le liquide qui fait partie du circuit. L'appareil, quand les vis sont bien serrées, tient l'eau parfaitement bien, et présente l'avantage qu'on est bien sûr que les deux parties du liquide séparées par le diaphragme, ne communiquent pas entre elles.

5° Un appareil destiné à mesurer la résistance qu'éprouve le courant. C'est une planche verticale sur laquelle sont tendus 4 fils d'*argentane* de $0^{\text{lig.}},166$ de diamètre, fixés à leurs deux extrémités par des chevilles dont les supérieures qui sont de cuivre traversent la planche, et peuvent recevoir, au moyen de trous dont elles sont percées, les fils conducteurs du courant. Des crampons métalliques mobiles, qui montent et descendent à volonté, servent à mettre en communication deux à deux les quatre fils d'argentane. On peut mettre également en communication les 4 fils d'argentane, de manière que le courant soit obligé de les parcourir successivement tous quatre, en faisant communiquer ensemble au moyen d'un fil métallique les chevilles de cuivre auxquelles sont fixés les deux fils du milieu, et en mettant le système des fils dans le circuit par les chevilles qui portent les deux fils extrêmes. On peut, soit en se servant de deux des fils seulement, soit en se servant des quatre, introduire dans le circuit une résistance qu'on rend plus ou moins grande en plaçant les pinces ou plus bas ou plus haut, de manière que la longueur totale du fil parcouru par le courant, soit plus ou moins considérable. D'après les recherches du

docteur Riess, la conductibilité de l'argentane est à celle du cuivre dans le rapport de 8,86 à 100. Or le développement total du fil d'argentane dans l'appareil que nous venons de décrire est de 132 pouces, ce qui produit une résistance égale à celle d'un fil de cuivre de 1490 pouces, soit de 124 pieds de longueur et de $0^{lig.}$,166 de diamètre. Quand il faut avoir de plus grandes résistances, l'auteur emploie un appareil semblable au précédent, mais qui est placé horizontalement; il porte quatre fils d'argentane longs de 12 $\frac{1}{2}$ pieds chacun, ce qui fait en tout une longueur de 50 pieds, longueur qui produit la même résistance que celle que détermine un fil de cuivre long de 564 pieds, le diamètre des fils étant toujours de $0^{lig.}$,166.

Quand on veut opérer, on met dans le circuit de la machine de Saxton le fil de platine du thermomètre à air, l'appareil des fils d'argentane et les deux lames métalliques qui servent à conduire le courant dans le liquide, et qui sont maintenant, comme nous l'avons dit, à une distance constante l'une de l'autre. On plonge ces lames dans la caisse rectangulaire remplie du liquide conducteur, tantôt dans le même compartiment, tantôt dans un compartiment différent, de façon que le diaphragme métallique interposé soit entre elles deux. Il est clair qu'en lisant l'indication du thermomètre à air dans l'un et l'autre cas, on doit en conclure d'une manière décisive s'il y a ou s'il n'y a pas résistance au passage. Or on trouve que, *quelle que soit la nature du liquide ou du diaphragme métallique, si ce diaphragme est sur la route du courant, le mouvement du thermomètre à air, c'est-à-dire l'intensité du courant, est beaucoup plus faible que dans le cas où il n'y a pas de diaphragme entre les deux lames et où le courant n'a que le liquide à traverser* [1].

[1] L'auteur s'est aussi servi, pour faire ses expériences, de deux vases de verre en forme de parallélipipède, de dimensions parfaitement sem-

Pour apprécier la valeur de la résistance dans chaque cas, on amène les pinces de l'appareil à fils d'argentane au zéro de l'échelle, c'est-à-dire, de manière qu'il n'y ait point de fil d'argentane dans le circuit ; puis on observe, en plongeant les lames dans le liquide de manière que le diaphragme soit compris entre elles, quelle est la hauteur du liquide dans le thermomètre à air pour une durée et une vitesse déterminées dans la rotation de l'appareil magnéto-électrique de Saxton. Ensuite on plonge les lames dans le même compartiment, de façon qu'il n'y ait point de diaphragme entre elles, et on éloigne du zéro les pinces, c'est-à-dire qu'on met dans le circuit une portion du fil d'argentane jusqu'à ce que, pour une même durée et une même vitesse de rotation de l'appareil de Saxton, le thermomètre à air donne la même indication qu'auparavant. Il est évident que la résistance au passage à travers le diaphragme est représentée par celle que produit la longueur qu'il faut donner au fil d'argentane pour obtenir le même effet. Cette longueur peut donc, dans chaque cas, servir à mesurer la résistance au passage.

Il faut avoir soin de faire tourner la machine de Saxton toujours avec la même vitesse, ce qu'on peut faire facilement une fois la rotation commencée ; on en prend du reste bien vite l'habitude. Pour avoir le plus haut degré d'exactitude, il ne faut fermer le circuit que lorsque la machine est déjà en rotation. L'absence d'un aide convenable a obligé Mr. Poggendorff à fermer le circuit avant que la machine fût mise en mouvement, ce qui produisait au commencement et à la fin de chaque expérience de petites variations, dont la grandeur ne

biables. Au moyen de quatre lames convenablement ajustées, il pouvait, en conservant toujours la même longueur au trajet liquide, faire passer le courant soit à travers un diaphragme interposé dans le liquide sur sa route, soit à travers le liquide seul. Cet appareil avait l'avantage de permettre d'opérer, vu la nature des vases, qui étaient de verre, avec des solutions très-acides.

peut jamais influer d'une manière bien sensible sur les résultats des expériences, et qui d'ailleurs se présentent dans le cas où il n'y a pas de diaphragmes, comme dans le cas où il y en a.

Après avoir donné un extrait abrégé, mais exact, de la première partie du Mémoire de Mr. Poggendorff, nous allons rapporter textuellement la partie de ce travail dans laquelle l'auteur expose les résultats qu'il a obtenus en opérant avec les appareils que nous avons décrits et de la manière que nous avons indiquée.

Expériences dans lesquelles on a fait usage de la caisse de bois avec écran.

Dans toutes ces expériences la rotation avait une durée et une rapidité égales, c'est-à-dire qu'elle durait chaque fois 15 secondes avec 15 courants alternatifs par seconde. La distance entre les deux lames conductrices était de 13,25 lig. La section transversale du liquide était le plus souvent de 3 pouces carrés, quelquefois de 1 seulement. La partie des lames et de l'écran qui plongeait dans le liquide avait toujours une surface de même étendue que cette section. Le liquide était ou de l'acide sulfurique étendu (1 partie d'acide et 12 parties d'eau en poids), ou une solution saturée d'hydrochlorate de soude. J'ai d'abord fait usage du petit thermomètre à air, plus tard du grand seulement. La division de ces deux instruments est arbitraire, et celle de l'un n'a pas été ramenée à celle de l'autre, quoiqu'on pût facilement le faire en les introduisant tous deux en même temps dans le circuit. Dans le petit les degrés occupent une demi-ligne, et dans le grand ils occupent une ligne entière. Les nombres qui se trouvent dans la même colonne l'un à côté de l'autre, sont les résultats de la répétition d'une seule et même expérience, et ces

répétitions ont toujours été plus nombreuses encore que cela n'est indiqué dans le tableau. Le plus souvent aussi les mesures ont été prises alternativement avec et sans écran.

HAUSSE DU PETIT THERMOMÈTRE. SECTION TRANSVERSALE DU LIQUIDE = 3 POUCES CARRÉS.		Grandeur de la résistance au passage, exprimée en longueurs du fil d'argentane qui sert à mesurer.
Sans écran. Lames conductrices de :	Avec écran de :	
Liquide : Acide sulfurique étendu.		
Platine 96; 98; 97; 97	Platine, de 0,1mm d'épaisseur 38; 41; 39; 40	Pouces. 38
Cuivre 100; 101; 102; 101	Platine, de 0,1mm d'épaisseur 44; 42; 42; 42	38
Cuivre 104; 105; 104,5	Cuivre, de 0,45mm d'épaisseur 62; 63; 62	19
Cuivre 104; 106; 103; 104	Cuivre, de 0,4mm d'épaisseur 61; 60; 61,5; 62	22
Cuivre 105; 106; 105	Fer, de 0,55mm d'épaisseur 81; 83; 82	8 [1]
Fer 113; 111; 112	Fer, de 0,55mm d'épaisseur 98; 98; 99	6
Liquide : Solution saturée d'hydrochlorate de soude.		
Cuivre 84; 84	Cuivre, de 0,04mm d'épaisseur 46; 46	26

[1] L'écran de fer était recouvert d'une mince couche de cuivre, probablement parce que le long séjour des lames de cuivre dans l'acide en avait fait dissoudre une petite partie. En répétant l'expérience je n'ai pas pu reproduire le phénomène.

HAUSSE DU GRAND THERMOMÈTRE. Sans écran. Lames conductrices de :	HAUSSE DU GRAND THERMOMÈTRE. Avec écran de :	Grandeur de la résistance au passage, exprimée en longueurs du fil d'argentane.
I. *Liquide : Solution saturée d'hydrochlorate de soude.*		
***A.* Section transversale = 1 pouce carré.**		
Platine	Platine, de 0,1^{mm} d'épaisseur	Pouces.
22,0; 22,4; 22,4; 22,2	2,6; 2,8; 2,2; 2,4	275
Cuivre	Cuivre, de 0,45^{mm} d'épaisseur	
b. 57,8; 56,5; 57,0	*b*. 34,0; 35,5; 36,0	29
Fer	Fer, de 0,55^{mm} d'épaisseur	
37,0; 37,0; 38	22,5; 22,0; 22,0	32
***B.* Section transversale = 3 pouces carrés.**		
Platine	Platine, de 0,1^{mm} d'épaisseur	
77,0; 78,5; 77,3; 77,5	14,0; 15,0; 16,0; 15,5	80
Cuivre	Cuivre, de 0,45^{mm} d'épaisseur	
b. 115,8; 116,9; 118,0	*b*. 91,0; 91,0; 90,0	10
Fer	Fer, de 0,55^{mm} d'épaisseur	
89,0; 89; 89; 88,0	62,5; 61,5; 61,0; 62,0	14
II. *Liquide : Acide sulfurique étendu.*		
***A.* Section transversale = 1 pouce carré.**		
Platine	Platine, de 0,1^{mm} d'épaisseur	
51,5; 51,0; 51,6; 50,5	13,0; 13,1; 13,5; 13,6	75
Cuivre	Cuivre, de 0,45^{mm} d'épaisseur	
a. 63,5; 63,5; 64,0; 63,8	*a*. 31,0; 31,5; 31,5; 32,0	35
b. 77,0; 78,0; 77,0; 76,5	*b*. 54,5; 53,0; 54	18
Fer	Fer, de 0,55^{mm} d'épaisseur	
65,0; 65,0; 65,0; 65,5	50,0; 50,0; 51,0; 50	14
***B.* Section transversale = 3 pouces carrés.**		
Platine	Platine, de 0,1^{mm} d'épaisseur	
110,0; 110,5; 111; 111,0	46,0; 45,2; 45,0; 46,0	34
Cuivre	Cuivre, de 0,45^{mm} d'épaisseur	
a. 114,0; 114,5; 115,0	*a*. 82,0; 84,5; 82,3	10
b. 128,0; 126,0; 128,0	*b*. 103; 102,5; 103,0	7,5
Fer	Fer, de 0,55^{mm} d'épaisseur	
117,5; 117,0; 118; 118,4	102,0; 100,0; 101,5; 103	5

Expériences avec les auges de verre réunies par un arc métallique.

La couche de liquide que le courant devait parcourir avait toujours 1 pouce de longueur, la partie des lames qui y était plongée avait deux pouces carrés de surface, savoir 2 pouces de profondeur et 1 pouce de largeur ; le liquide, quoique aussi profond, avait 1 $\frac{3}{4}$ pouce de largeur. Je me suis servi successivement, pour liquide, de solution de sulfate de cuivre (1 partie du sel dans 4 parties d'eau), d'acide sulfurique très-étendu (1 partie acide concentré dans 12 parties d'eau), d'acide sulfurique peu étendu (1 partie pour 2 parties d'eau) et d'acide

HAUSSE DU GRAND THERMOMÈTRE.		Grandeur de la résistance au passage.
Sans arc intermédiaire. Lames conductrices de :	Avec arc intermédiaire de :	
Cuivre	Cuivre	Pouces.
Solution de sulfate de cuivre.		
34 ; 33 ; 33,9 ; 34	26,4 ; 26,5 ; 26,7 ; 26,5	16
Acide sulfurique très-étendu.		
94,3 ; 92,7 ; 95,2 ; 95	55,7 ; 55,5 ; 56,4	21
Acide sulfurique peu étendu.		
125 ; 124 ; 124	83,5 ; 83,0 ; 83,5	14
Platine	Platine	
Acide nitrique.		
110 ; 109,5 ; 110,5	34 ; 35,2 ; 34,6	45

nitrique de 1,190 pes. spéc. Ce dernier ne contenait ni acide hydrochlorique ni acide nitreux. La durée et la rapidité de la rotation étaient les mêmes qu'auparavant [1].

Un coup d'œil jeté sur ce tableau lèvera le dernier doute qu'on pourrait avoir encore relativement à l'existence de la résistance au passage. On ne peut invoquer ici aucune faute d'observation, la diminution de l'échauffement par suite de l'interposition du métal étant toujours tout à fait prononcée, et s'élevant même dans quelques cas jusqu'à 40 et 60 degrés. Pour démontrer l'*existence* de la résistance au passage, il n'est pas même besoin que les thermomètres portent une échelle : la différence d'échauffement dans les deux cas, c'est-à-dire avec ou sans arc métallique interposé, se montre déjà, le plus souvent, par la rapidité de la marche du liquide thermométrique.

Il ne peut y avoir de difficulté ou d'incertitude que pour déterminer la *grandeur* de cette résistance, et cela tient en partie aux vices que j'ai déjà indiqués dans la manière de procéder à cette détermination, mais surtout à ce qu'elle dépend de circonstances dont on n'est pas entièrement maître.

Circonstances qui influent sur l'intensité de la résistance au passage.

1° *Nature du métal et du liquide.* Cette influence ressort évidemment des tableaux. Dans la solution d'hydrochlorate de soude, cette résistance est plus grande que dans l'acide sulfurique, et dans ce dernier elle diminue avec le degré de con-

[1] Ces expériences, qui ont été faites après toutes les autres, sont comparables entre elles, mais pas rigoureusement avec les autres; la vis qui servait à tenir l'axe de rotation de l'armure de la machine, s'étant relâchée, et n'ayant peut-être pas repris exactement sa première distance par rapport à l'aimant lorsqu'on l'a serrée de nouveau. Une légère différence dans cette distance en entraîne une considérable dans la force des courants.

centration (du moins dans le champ des expériences que j'ai faites). De plus, dans le même liquide, elle est plus grande, en général, avec le platine qu'avec le cuivre, plus grande avec ce dernier qu'avec le fer, par conséquent d'autant plus grande que le métal est plus négatif.

2° *Nature de la surface des métaux.* Cet élément est de la plus grande influence sur la résistance au passage, et en rend la détermination numérique extrêmement difficile. J'ai fait bien des efforts pour placer les métaux dans les mêmes circonstances sous ce rapport, mais malgré tous mes soins je n'y ai réussi qu'imparfaitement. Pour les déterminations que j'ai mentionnées, les métaux avaient été nettoyés par le frottement avec un mélange d'acide sulfurique étendu et de sable ou d'émeri, puis lavés dans l'eau, et plongés dans le liquide sans être essuyés. Cette dernière précaution est nécessaire, car si, pour sécher les lames, on les essuie avec de la toile ou du papier Joseph même très-propre, il en résulte qu'elles ne sont plus mouillées uniformément par le liquide, et il est vraisemblable que cela donne lieu à une augmentation dans la résistance au passage. Chose remarquable, ce même effet est produit avec le platine, si on le fait chauffer fortement à la flamme d'esprit-de-vin. Au contraire, la résistance diminue beaucoup avec le cuivre, quand on le fait chauffer de la même manière à l'air jusqu'à ce qu'il ne présente plus les couleurs qui se montrent dans les premiers moments [1], quoique dans cette opération il se recouvre d'une couche d'oxidule.

Mais l'effet produit par les altérations qui surviennent dans le cours des expériences est aussi fâcheux, peut-être même plus, pour l'exactitude des déterminations, que celui qui est dû à la différence primitive dans l'état de la surface. En effet

[1] C'est ce même procédé qui accroît tellement aussi la force et la durée constante du courant de la pile zinc et cuivre. (Voyez Annal. t. LI, p. 384, et Archives de l'Electricité t. I, p. 268.)

le courant électrique qui chemine alternativement en sens contraire, agit de telle sorte, ainsi que de la Rive l'a observé le premier, qu'il oxide et réduit tour à tour les lames plongées dans le liquide, de même que les deux faces de l'écran, et qu'il les recouvre ainsi d'une couche pulvérulente de métal extrêmement divisé (dans quelques cas peut-être aussi d'oxidule) qui augmente sans cesse. Le cuivre présente très-vite cet état; le platine plus lentement, de même que le fer, du moins dans les acides qui font dissoudre cette couche.

Par suite de cette altération de surface, tout système formé d'un métal et d'un liquide offre un passage d'autant plus facile à un courant qu'on l'expose plus longtemps ou plus souvent à l'action de ce courant. C'est seulement après qu'on a répété plusieurs fois les expériences que les métaux paraissent arriver à un état constant sous ce rapport. Quand on les rend brillants par le frottement avec de l'acide, du sable ou de l'émeri, les métaux ainsi altérés perdent leur supériorité d'action, mais toutefois en partie seulement; pour l'ordinaire ils sont plus actifs que des lames qui n'ont pas encore servi.

La diminution qu'éprouve la résistance au passage par suite de cette altération de surface est si grande que si on répète un grand nombre de fois les expériences, elle efface de plus en plus et même détruit entièrement ou renverse la différence, peut-être considérable, qui existe d'abord entre les systèmes dans lesquels, le liquide étant le même, les diaphragmes métalliques sont d'une nature différente.

C'est précisément à démontrer ce fait, que peuvent servir les expériences dans lesquelles on a fait usage du petit thermomètre à air, et que j'ai rapportées plus haut. Ce sont les plus anciennes; les lames avaient peu servi encore. Si l'on en compare les résultats avec les résultats correspondants qui ont été obtenus plus tard avec l'emploi du grand thermomètre, et avec les mêmes lames et les mêmes écrans (qui avaient été, il est vrai, frottés plusieurs fois dans l'intervalle), on trouve que

les derniers ont annoncé toujours une résistance plus faible que les premiers. Bien plus, les lames, qui sont toujours nécessairement plus souvent exposées au courant que les écrans, avaient subi une altération telle que par exemple celles de *cuivre*, qui seules, sans écran, dans la première série d'expériences, affaiblissaient plus le courant que celles de *fer* également seules, ont présenté dans la série postérieure précisément le phénomène inverse, soit dans la solution d'hydrochlorate de soude, soit dans l'acide sulfurique. Le cuivre a même présenté de si grandes altérations dans cette dernière série, que j'ai cru devoir distinguer par les lettres *a* et *b* ses divers états, pour faciliter la comparaison des résultats.

Les lames subissent de même une altération dans la nature de leur surface, quand on les transporte d'un liquide dans un autre. Lorsque, par exemple, dans les expériences avec des arcs intermédiaires, on a sorti les lames de cuivre de la solution de sulfate de cuivre dans laquelle la résistance est faible, pour les plonger dans l'acide sulfurique très-étendu (après les avoir lavées dans l'eau, mais sans les essuyer), la résistance n'a été d'abord que la moitié de ce qu'elle était dans le tableau de la page 507, valeur à laquelle elle est revenue après quelques répétitions des expériences.

Cette variation dans la résistance m'a engagé à répéter toutes les expériences un nombre de fois beaucoup plus grand que celui qui est indiqué dans les tableaux; ces tableaux ne renferment que les résultats postérieurs dans lesquels il ne se manifestait aucune tendance notable vers une diminution, et d'après lesquels on pouvait croire que l'état constant était atteint, du moins approximativement.

J'ai cru devoir faire ressortir ici particulièrement l'influence de la nature de la surface, parce qu'elle peut avoir donné naissance à plus d'un désaccord entre les résultats qu'ont obtenus divers observateurs. Ainsi de la Rive prétend qu'il se développe alternativement de l'oxigène et de l'hydrogène sur les lames qui

donnent passage à travers un liquide au courant magnéto-électrique, qui chemine tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. Il a mesuré la quantité du mélange gazeux dégagé de cette manière sur chaque lame; il a même cherché à établir une relation entre cette quantité et l'intensité du courant [1]. Moi aussi, j'ai observé ce dégagement de gaz, mais il s'est arrêté ordinairement au bout de peu de secondes, et la quantité du gaz dégagé a toujours été très-faible, à peine appréciable. Avec des lames qui avaient servi plusieurs fois, je n'ai guère obtenu qu'une trace de gaz, même lorsque ces lames étaient de platine et avaient été préalablement frottées avec de l'acide et de l'émeri. Il y a ici, je n'en doute point, une influence de la force de courant, qui a été plus faible dans mes expériences que dans celles de de la Rive; je ne puis cependant regarder le dégagement de gaz en question que comme un phénomène pour ainsi dire accidentel, qui n'a plus lieu et ne peut plus avoir lieu dès que les opérations de l'oxidation et de la réduction alternatives des lames sont bien établies.

La diminution qu'éprouve la résistance au passage par l'action prolongée du courant sur les lames, la fait en quelque sorte dépendre du *temps*. Mais cette dépendance ne tient pourtant qu'à l'altération de la surface des lames. Tant que l'état de

[1] Mr. Poggendorff fait erreur : je n'ai jamais recueilli ni mesuré le gaz qui se dégage sur la surface des lames, et qui en effet est nul ou cesse très-vite, pour peu que ces lames aient avec le liquide une surface de contact un peu considérable. Mais le dégagement gazeux que je mesurais est celui qui avait lieu autour d'un simple fil de platine qui conduisait le courant dans le liquide d'un côté, tandis que, de l'autre, c'était une lame plus ou moins immergée qui servait d'électrode. Avec un simple fil de platine de 1 à 2 pouces de longueur, le dégagement gazeux est très-abondant pour peu que la solution conduise bien les courants; il ne diminue qu'au bout d'un temps passablement long, et ne cesse même jamais entièrement, lors même que la surface des fils est devenue pulvérulente par suite des oxidations et des réductions alternatives. (Voyez à cet égard mon Mémoire sur les propriétés des courants magnéto-électriques, *Bibl. Univ., Nouv. Série*, t. XIV, p. 366.) (A. DE LA R.)

cette surface reste le même, la résistance paraît aussi ne point changer. Je n'ai pas pu m'assurer qu'elle ait besoin d'un intervalle de temps pour se manifester; je crois, au contraire, qu'elle existe dès le premier moment que le courant commence à agir. Je l'ai trouvée aussi prononcée au bout de 10 et de 5 secondes qu'elle l'était au bout de 15, durée ordinaire des expériences.

Je n'ai pas pu, sans l'aide d'une autre personne, donner au courant une durée moindre que 5 secondes. J'ai donc profité récemment de la présence de mon ami Mr. Guill. Weber pour faire avec lui quelques expériences exactes. Quand j'avais mis la machine de Saxton en mouvement, mon ami fermait et ouvrait le circuit à des intervalles fixes, et observait en même temps le thermomètre. Le résultat a été que déjà au bout de deux secondes la résistance au passage se manifestait d'une manière non équivoque. En effet trois expériences, faites avec des lames de cuivre et de l'acide sulfurique très-étendu, ont donné, lorsque le courant changeait trente fois de direction dans ces deux secondes, les indications suivantes avec le grand thermomètre, pour deux intensités différentes du courant :

	Avec un courant d'une grande intensité.	Avec un courant peu intense. [1]
Sans écran de cuivre.	22°,0; 23°,7; 22°,3	13°,0; 13°,0; 14°,0
Avec écran de cuivre.	16,0; 16,0; 17,5	10,7; 10,5; 10,2

Il ne peut, d'après cela, y avoir aucun doute que la résistance au passage n'existe dès l'origine du courant; et par conséquent ainsi qu'on l'a supposé, elle ne peut pas être due à une

[1] On obtenait une diminution d'intensité par l'interposition dans le circuit de 20 pouces de fil d'argentane.

accumulation de substances mauvaises conductrices sur les lames, accumulation qui, d'après ce qui a été déjà dit, n'a point du tout lieu dans ces expériences.

3. *Force du courant.* Cet élément a aussi une grande importance, même en ce qui concerne la théorie de la pile voltaïque; aussi ai-je mis un soin particulier à en déterminer l'influence.

On peut avec une même machine de Saxton augmenter ou diminuer de diverse manière l'intensité du courant, en changeant la rapidité de rotation de l'armure, la distance entre l'armure et l'aimant, la force de ce dernier, opérations qui toutes influent sur la force électromotrice; on peut aussi changer la résistance du circuit, partager le courant, etc. Parmi les modes de changement de la première espèce, j'ai fait particulièrement usage du troisième, comme étant le plus commode. Un changement dans la distance de l'armure ne peut se faire que dans des limites trop étroites, vu la construction de la machine; et quant à une modification dans la rapidité de la rotation, si l'on n'a pour mesurer le temps qu'une montre à secondes à sa disposition, et qu'il faille tourner la machine avec la main libre, on rencontre de grandes difficultés à employer une autre vitesse que celle qui est indiquée par la marche d'une aiguille à secondes.

J'ai donc commencé par mettre deux petits barreaux de fer en travers et au-dessus des pôles de l'aimant en fer à cheval, et j'ai affaibli ainsi la force électromotrice de la machine. Cela fait, j'ai répété exactement d'après la précédente méthode les mêmes expériences, en employant la caisse de bois. La section transversale du liquide, qui était la même exactement que celle des lames et de l'écran, était encore de trois pouces carrés. La distance entre les lames conductrices, ainsi que la rapidité de la rotation, était aussi la même qu'auparavant; je n'ai fait varier que la durée[1].

[1] Je supprime ici une note dans laquelle l'auteur cherche à calculer

Je me suis servi pour liquide d'acide sulfurique étendu dans le rapport de 1 à 12.

PETIT THERMOMÈTRE.		Grandeur de la résistance au passage.
Sans écran. Lames conductrices de :	Avec écran de :	
		Pouces.
Durée de la rotation = 15″.		
Cuivre 28°; 28°; 28°	Cuivre, de 0,45^{mm} d'épaisseur 15°; 15°; 15°	24
Cuivre 28; 28; 28,5	Cuivre, de 0,04^{mm} d'épaisseur 13; 14; 13; 14	30
Durée de la rotation = 10″.		
Platine 16; 17; 16	Platine, de 0,1^{mm} d'épaisseur 3; 3	80 environ

Si l'on compare ces résultats avec les résultats correspondants que j'ai obtenus en me servant du même thermomètre quand la force du courant *n'avait pas été affaiblie*, on voit que, lorsque la force est affaiblie, la résistance est dans chacun des cas plus grande qu'elle ne l'était auparavant. Les différences sont trop considérables pour n'être pas réelles. — Cependant on pourrait objecter que les écrans ne s'étaient peut-être pas trouvés dans le même état. Pour détruire cette objection, j'ai répété dans une autre occasion, avec le grand thermomètre, les deux sortes d'expériences immédiatement les unes après les autres, en ayant soin que la force électromotrice

dans quel rapport la force électromotrice de la machine de Saxton diminue par l'effet de l'application des petits barreaux de fer sur l'aimant. A. D. L. R.

de la machine fût tantôt *entière*, tantôt *affaiblie*. La section transversale du liquide, la rapidité de la rotation, tout était de même qu'auparavant, la durée de la rotation était aussi toujours de 15 secondes.

Echauffement sans écran. Lames conductrices de :	Echauffement avec écran de :	Grandeur de la résistance au passage.
		Pouces.
Liquide : Solution saturée d'hydrochlorate de soude.		
Cuivre	Cuivre, de 0,45^{mm} d'épaisseur	
Courants dans toute leur force.		
115°,8; 116°,9	91°; 90°	10
Courants affaiblis.		
32,9; 32,8	22,3; 22,2	15
Liquide : Acide sulfurique étendu (1 : 12).		
Platine	Platine, de 0,1^{mm} d'épaisseur	
Courants dans toute leur force.		
110,5; 111; 111	45,2; 45; 46	34
Courants affaiblis.		
25; 25; 24	4,5; 4,0; 4,6	80

Ici encore, quoique l'état de la surface des lames et des écrans fût presque le même, les différences ne peuvent se méconnaître. Il est donc certain que, *à grandeur égale de la surface métallique en contact avec le liquide*, la résistance *croît* avec la *diminution* de la force du courant.

Cependant cette résistance au passage dépend moins de la

force du courant de toute la section transversale du liquide, que de celle que possède chacun des points de cette section. Voici les expériences que j'ai faites pour le démontrer.

La force de la machine étant toujours dans son entier et non affaiblie, j'ai mesuré d'abord la résistance pour une section de liquide égale à un pouce carré (je ne versai du liquide qu'à la hauteur d'un pouce dans les divisions de la caisse); puis pour une section de 3 pouces carrés, en ayant soin d'allonger en même temps le fil de l'instrument qui mesure la résistance, d'une quantité telle que dans les deux cas la force de courant de la section totale fût la même sans interposition d'écran. La durée et la rapidité du mouvement de la machine étaient les mêmes qu'à l'ordinaire. La dernière expérience seule a été faite avec le petit thermomètre. (*Voyez le tableau ci-derrière.*)

Si dans ces tableaux on rapproche les colonnes qui sont susceptibles de comparaison, on en tire deux résultats :

1. Que, *si la section transversale de liquide est inégale* (ou plutôt si la grandeur de la surface métallique en contact avec le liquide est inégale, surface qui pourtant, dans le cas dont il s'agit, est toujours de même dimension que la section transversale du liquide) *et la force du courant égale dans cette section, la résistance au passage diminue avec la grandeur de cette section ; mais elle diminue dans un rapport moindre que le rapport inverse simple.*

Ainsi avec l'écran de platine dans l'acide sulfurique, la section étant d'un pouce, la résistance a été = 75 pouces du fil ; avec la section de 3 pouces elle a été de 50 pouces, ce qui est moins il est vrai que 75, mais plus que $\frac{1}{3} \times 75$ ou 25 pouces, comme elle aurait dû être si elle était exactement dans un rapport inverse simple avec la grandeur de la section. La même chose a eu lieu pour le même métal, dans les expériences faites avec le petit thermomètre, ainsi que dans les autres, toutes les fois que avant d'interposer l'écran on avait rendu la force de

Sans écran.	Avec écran.	Résistance au passage pour une force de courant petite.	grande
Lames de fer	Ecran de fer		
Liquide : Solution saturée d'hydrochlorate de soude.			
A. Section transversale = 1 p. Fil de mesure = 0.			
37 ; 37 ; 38	22,5 ; 22 ; 22	32	
B. Section transversale = 3. Fil de mesure = 40 p.			
38 ; 38	27,5 ; 27,5	20	14
Liquide : Acide sulfurique étendu.			
A. Section transversale = 1. Fil de mesure = 0.			
65 ; 65 ; 65,5 ; 65	50 ; 50 ; 51 ; 50	14	
B. Section transversale = 3. Fil de mesure = 24 p.			
65 ; 65 ; 64,5	54 ; 55 ; 55,5	8	5
Lames de cuivre	Ecran de cuivre		
Liquide : Acide sulfurique étendu.			
A. Section transversale = 1. Fil de mesure = 0.			
66,9 ; 67,0 ; 66,6	40,0 ; 41,0 ; 42,0	24	
B. Section transversale = 3. Fil de mesure = 25″.			
66,1 ; 65,9 ; 67,0	50,0 ; 49,5 ; 49,5	14,5	10,0
Lames de platine	Ecran de platine		
Liquide : Acide sulfurique étendu.			
A. Section transversale = 1. Fil de mesure = 0.			
51,5 ; 51 ; 51,6 ; 50,5	13 ; 13,1 ; 13,5 ; 13,6	75	
B. Section transversale = 3. Fil de mesure = 26″.			
52 ; 53 ; 52	20,5 ; 21,0 ; 22	50	34
(AVEC LE PETIT THERMOMÈTRE.)			
A. Section transversale = 1. Fil de mesure = 0.			
35 ; 35 ; 36	10 ; 10 ; 11	80	
B. Section transversale = 3. Fil de mesure = 30″.			
36 ; 36,5	16 ; 16,5 ; 16	50	38

courant égale ou à très-peu près, pour chacune des deux sections de grandeur différente [1].

2. Que, *pour une section transversale de liquide constante, et avec un courant de force variable qui traverse cette section, la résistance au passage est d'autant moindre que la force est plus grande.*

Pour démontrer cette conséquence j'ai replacé la dernière colonne verticale du tableau qui précède, que j'avais empruntée à un tableau antérieur; elle indique la résistance pour le cas où la section transversale est égale à 3, la force du courant n'ayant été affaiblie par l'interposition d'aucun fil. Au moyen de cette colonne comparée avec l'avant-dernière, on voit aisément, par exemple, que la résistance qui était de 34 pouces avec l'écran de platine dans l'acide sulfurique quand la force du courant n'était pas affaiblie, a été au contraire de 50 pouces quand cette force a été affaiblie par 26 pouces de fil d'argentane, quoique, dans les deux cas, la section transversale fût de 3 pouces carrés. Il en a été de même avec le fer et le cuivre.

Les deux résultats que nous venons de faire ressortir, dont le second est une confirmation immédiate de celui qui a été obtenu en affaiblissant les courants par l'application de barreaux de fer sur l'aimant [2], peuvent se servir de confirmation

[1] A proprement parler, il aurait fallu rendre égale la force de courant pour les deux sections *après* l'interposition de l'écran; cependant il ne résulte de cette irrégularité aucune différence qui modifie notablement les conclusions que j'ai tirées. Il est clair, d'ailleurs, que les résultats indiqués pour deux sections dans le tableau de la page 506 ne touchent en rien au principe énoncé ci-dessus, puisque dans ce cas-là l'augmentation de la section était accompagnée de l'élévation de la force totale du courant. Dans toutes les expériences précédentes la surface de l'écran interposé était égale à celle des lames conductrices. J'ai fait deux expériences dans lesquelles cette égalité n'existait pas, et où pourtant la force totale du courant ne pouvait pas être changée. L'échauffement a été un peu différent, si peu, cependant, que je suis disposé à ne considérer cette différence que comme accidentelle et véritablement comme nulle.

[2] On obtient le même résultat, plus ou moins distinctement, avec toutes

l'un à l'autre. Ils proviennent d'une cause commune, à savoir, de ce que, *en chacun des points de la section transversale du liquide ou de la surface métallique qui est en contact avec lui, la résistance au passage est dans un rapport inverse avec la force du courant dans ce point.*

La chose est évidente d'elle-même pour le second résultat, car si, la section transversale restant la même, la force totale du courant est changée, cette force change nécessairement dans le même rapport en chacun des points de la section; et comme la résistance dépend de la force totale, elle doit dépendre de même de la force partielle du courant en chacun des points de l'écran.

Elle est moins évidente pour le premier résultat. Cependant on parvient à la démontrer en posant comme principe que, si, la force du courant étant la même, les résistances totales de deux sections transversales étaient exactement dans un rapport inverse avec la grandeur de ces sections, les résistances dans

les mesures rapportées jusqu'ici, en calculant d'après un tableau précédent (*a*), au moyen des échauffements obtenus avec et sans écran, la résistance due à cet écran, et comparant avec le produit de ce calcul la résistance réellement mesurée. On trouve dans la grande généralité des cas cette dernière inférieure à l'autre, parce que l'affaiblissement du courant, produit par l'interposition de l'écran, a augmenté la résistance sur les lames conductrices.

Ainsi, d'après le tableau (page 506), avec le platine dans l'acide sulfurique et la section 3, l'échauffement a été en moyenne de 110°,6 sans l'écran, de 45°,5 avec l'écran. A la dernière valeur correspond, d'après le tableau (voy. note *a*) une résistance de 59,4 pouces; à la première, une de 18,1 pouces. La résistance sur l'écran aurait donc été de 59,4 — 18,1 soit 41,3 pouces. Mais la valeur de cette résistance obtenue par l'expérience n'était que de 34 pouces, comme l'indique le premier tableau désigné. Par conséquent la résistance sur les *lames conductrices* n'était pas restée constamment la même, mais avait augmenté avec l'affaiblissement du courant. Cependant, comme il est aisé de le voir, la variabilité de la résistance dans les lames, due à cette cause, n'a pas d'influence sur la mesure de la résistance de l'écran (ou de l'arc), cette dernière résistance seule étant alors remplacée par une autre de même grandeur, c'est-à-dire par une certaine longueur de fil.

(*a*) Ce tableau se trouve dans la note que nous avons supprimée (page 514). (R.)

chacun des points des sections seraient indépendantes des forces partielles des courants dans ces points.

Supposons, en effet, qu'on ait introduit à la fois dans l'un et l'autre courant deux conducteurs en forme de parallélipipèdes de même longueur, mais ayant une section transversale différente. La force totale sera la même dans les sections transversales des deux conducteurs; mais la force dans chacun des points des sections, ou la densité du courant (selon l'expression de Mr. Vorsselman de Heer), sera dans un rapport inverse avec les sections transversales. Soient maintenant s, s' les sections transversales W, W', les résistances totales dans ces sections, et w, w' les résistances dans chacun de leurs points. Ces dernières résistances étant les mêmes dans tous les points de la même section, on a :

$$w = W s ; \quad w' = W' s'.$$

Si l'on avait de même exactement $W s = W' s'$, on aurait $w = w'$, c'est-à-dire que les résistances en chacun des points des sections transversales, quelle que fût la grandeur de celles-ci, seraient égales entre elles, par conséquent indépendantes des forces absolues du courant dans ces points.

Avec les conducteurs métalliques on a $W s = W' s'$, *puisque la résistance que les métaux présentent à la circulation du courant est indépendante de sa force absolue.*

Mais quand il s'agit de la résistance au passage, qui représente en quelque sorte la résistance d'un conducteur sans longueur, $W s$ est plus grand ou plus petit que $W' s'$; il ressort de là que, dans chacun des points de la section transversale du liquide ou de la surface métallique en contact avec le liquide, cette résistance est déterminée par la force du courant, et que, ainsi que l'expérience le montre, elle est dans un rapport inverse avec cette force.

D'après ce qui précède, il ne peut, ce me semble, rester aucun doute sur la dépendance dans laquelle la résistance au

passage se trouve être à l'égard de la force de courant. Il est clair aussi que, de même que cette résistance augmente à mesure que la force du courant diminue, elle doit diminuer à mesure que cette même force augmente. Il ne serait même pas impossible que, lorsque la force du courant deviendrait très-considérable, elle disparût entièrement ou devînt insensible. Je n'ai pu cependant réussir à la voir disparaître en faisant usage de courants très-forts, mais qui permettaient encore cependant de déterminer avec quelque certitude la rapidité de rotation de l'armure, et de faire avec le thermomètre à air une observation digne de confiance.

A 22 $\frac{1}{2}$ rotations de l'armure par seconde, soutenues durant 15 secondes, j'ai obtenu au petit thermomètre, dans les mêmes circonstances que celles que j'ai indiquées dans le précédent tableau, et en faisant usage de l'acide sulfurique étendu, 141° et 142° avec des lames de fer seules, et 130° et 131° en interposant l'écran de fer.

Plus tard, avec un aide, j'ai fait une expérience semblable dans les caisses de verre avec un arc de cuivre et l'acide sulfurique peu étendu (1 partie d'acide sur 2 parties d'eau).

L'armure faisait 30 révolutions dans une seconde; mais elle n'a été maintenue en mouvement que pendant 5 secondes, parce que autrement la grande force du courant aurait chassé hors du thermomètre la colonne indicatrice du liquide, bien que je fisse usage du grand instrument. L'échauffement s'élevait à :

sans arc intermédiaire. . . .	106°;	104°;	105°
avec un arc intermédiaire . .	85°;	86°;	84°

Ainsi, malgré cette force de courant si considérable, l'existence de la résistance au passage se faisait encore reconnaître d'une manière qui ne laisse aucune incertitude. Elle pouvait être représentée par 10 pouces environ du fil de mesure; cependant il ne faut considérer cette valeur que comme très-appro-

ximative, parce qu'il est très-difficile, vu la grande rapidité de la marche de la colonne thermoscopique, de lire l'indication du thermomètre, et qu'il ne l'est pas moins de déterminer exactement la rapidité de rotation de l'armure.

4. *Température du liquide et des métaux qui y sont plongés.* Tous les résultats que j'ai mentionnés jusqu'ici ont été obtenus à une température moyenne de 13° à 14° R. Il s'agissait de savoir quelle influence la température exercerait sur la résistance au passage.

Dans ce but, sans me servir d'écran ni d'arc intermédiaire, j'ai conduit le courant au moyen de lames, tantôt de cuivre, tantôt de platine, à travers de l'acide sulfurique très-étendu (1 partie d'acide sur 12 parties d'eau) auquel j'ai donné alternativement la température ordinaire de 13° à 14°, et une plus élevée, de 60° à 70° R. Dans les deux cas la distance entre les lames était de 4 $\frac{5}{12}$ lignes, et la partie de leur surface qui plongeait dans le liquide avait 3 pouces carrés; le courant a été soutenu pendant 15 secondes, avec 15 alternatives par seconde; et pour en modérer l'intensité, outre les fils conjonctifs permanents on avait introduit dans le circuit 20 pouces de fil de mesure. Les choses étant ainsi disposées, le grand thermomètre a donné l'échauffement suivant :

Température du liquide.	Platine.	Cuivre
13° à 14° R.	74°,8; 74°,3; 73,°5	76°; 78°; 79°;
60° à 70° R.	109,5; 110; 110	93; 95; 94

La résistance du système a donc considérablement diminué avec l'accroissement de la température. Il est vrai que cette diminution ne peut pas être mise uniquement sur le compte d'un affaiblissement de la résistance au passage, car il se peut que la résistance du liquide ait aussi éprouvé quelque affaiblis-

sement ; mais ce qui suit fait voir clairement que c'est surtout à la première de ces causes qu'il faut attribuer le phénomène en question.

D'après le tableau que j'ai dressé [1], la différence qui existe entre les valeurs 109°,8 et 74°,2, qui sont les moyennes des observations faites avec les lames de platine dans l'acide sulfurique chaud et froid, correspond à la résistance d'environ 17 pouces de fil d'argentane.

D'autre part j'ai déterminé la résistance de conductibilité que possède, à la température ordinaire, l'acide sulfurique que j'ai employé ; pour cela j'ai observé l'élévation du thermomètre, soit avec les lames de platine, soit avec celles de cuivre, d'abord pour la distance ordinaire de 13 $\frac{1}{4}$ lignes, puis pour une distance égale au $\frac{1}{3}$ de celle-là, et ensuite, dans le dernier cas, j'ai compensé le raccourcissement de la colonne du liquide par un allongement du fil de mesure, jusqu'à ce que j'ai obtenu de nouveau la même indication au thermomètre. Il est résulté de là que, avec une longueur de 4 $\frac{5}{12}$ lignes et 3 pouces carrés de section transversale, dimensions qui sont les mêmes que dans les expériences rapportées plus haut, l'acide sulfurique employé a présenté, à la température ordinaire, une résistance qui équivalait à celle de 3 pouces du fil d'argentane.

La diminution observée précédemment dans la résistance, lors d'une élévation de température de 46° à 56° R., a été de 17 pouces. Ainsi, quand la résistance de conductibilité du liquide aurait été entièrement nulle, supposition qui est contre toute vraisemblance, il serait cependant encore resté 14 p. de fil d'argentane pour l'affaiblissement de la résistance au passage.

Mais en réalité cet affaiblissement a été plus considérable, car en mesurant, d'une manière approximative il est vrai, la résistance de conductibilité de l'acide sulfurique à 60° et 70° R. d'après le procédé qui a été indiqué, j'ai obtenu à cette température une valeur de 2 $\frac{1}{3}$ pouces. Ainsi la résistance du liquide

[1] Celui qui se trouve supprimé avec la note (page 514).

ne s'était affaiblie que de $\frac{2}{3}$ de pouce par l'élévation de température dont j'ai parlé, et par conséquent il faut compter 16 $\frac{1}{3}$ pouces pour ce qui provient de la diminution de la résistance au passage par le fait de l'élévation de température.

Ainsi, quoique le résultat obtenu plus haut ne fût que complexe, non-seulement à cause des changements simultanés de la résistance dans le liquide et à l'écran, mais encore à cause de l'augmentation dans la force de courant qui en résultait, il est hors de doute que *la résistance au passage diminue avec l'accroissement de la température.*

Le sujet que je viens de discuter me faisait presque une obligation d'étudier de plus près la résistance des liquides dans ses rapports avec la température et avec la force du courant, puisqu'on n'a là-dessus que des données incertaines; cependant en considérant qu'une semblable étude devait être faite avec une beaucoup plus grande exactitude à l'aide de l'aiguille aimantée, j'ai renoncé à ce projet pour en faire le sujet d'un autre travail.

Mais, d'autre part, j'ai cru intéressant d'examiner quelle relation il existe entre la résistance au passage et un autre phénomène. Lorsqu'on verse goutte à goutte de l'eau ou un autre liquide susceptible de s'évaporer, sur une surface métallique propre, fortement chauffée ou même rougie, ce liquide, comme on sait, ne s'étend pas, mais s'agglomère en un petit globule qui, se vaporisant lentement, sautille un certain temps sur cette surface. C'est en quoi consiste l'expérience de Leidenfrost.

On a beaucoup agité la question de savoir s'il y a dans ce phénomène un contact entre le liquide et le métal, et on a avancé bien des arguments pour et contre. Il y a déjà quelques années, j'eus l'idée qu'on pourrait décider cette question, en recherchant si un courant électrique peut passer du globule dans le métal et réciproquement.

Je répétai donc l'expérience de Leidenfrost avec un creuset de platine, dans lequel je projetai de l'acide sulfurique étendu;

je fis communiquer le creuset avec une des extrémités du fil du galvanomètre, et une lamelle de zinc avec l'autre. Je pus alors introduire la lamelle de zinc dans le globule en mouvement de l'acide, et l'y laisser pendant quelque temps sans que le phénomène fût dérangé. Une quantité notable de zinc fut dissoute avec bruit; mais jamais, pendant cette opération, je ne vis l'aiguille aimantée manifester le plus petit mouvement.

Déjà alors je n'avais aucun doute sur l'exactitude du résultat de cette expérience, mais le procédé me paraissait laisser quelque chose à désirer. Aussi ai-je désiré mettre à profit une modification introduite récemment par Marchand dans l'expérience de Leidenfrost, et au moyen de laquelle l'observation se fait plus commodément.

J'ai chauffé jusqu'à ébullition, dans un vase de porcelaine, une grande quantité d'acide sulfurique étendu; j'y ai plongé une lame de zinc amalgamée, qui communiquait avec une extrémité du fil du galvanomètre, et ensuite avec rapidité une lame de platine chauffée au rouge, et fixée à l'autre extrémité du même fil. Si l'on a soin de ne laisser cette lame dans le liquide que tant qu'elle ne perd pas sa couleur rouge, cela n'a sur le liquide aucun effet sensible pour l'oreille ni pour la vue. L'effet galvanique est également négatif, jamais l'aiguille du galvanomètre n'éprouve la plus légère déviation.

Il est donc certain que dans ces circonstances le circuit de la pile n'est pas fermé. Cependant, dans cette expérience, il n'y a jamais que le métal *négatif* qui arrive à l'état de chaleur rouge, et il ne serait pas impossible qu'il y eût ici une conductibilité partielle comme celle qui a été observée depuis longtemps dans les flammes par Erman, sous le nom d'unipolarité, et récemment aussi par Andrews. J'ai donc modifié l'expérience de la manière suivante.

J'ai muni la machine de Saxton d'un des commutateurs que j'ai déjà décrits ailleurs, en sorte que le courant pût recevoir une direction fixe; j'ai fait communiquer un des pôles directe-

ment avec le galvanomètre, et l'autre avec une lame de platine qui était plongée dans l'acide sulfurique étendu, renfermé dans le vase de porcelaine, tandis qu'une seconde lame de platine communiquait avec l'autre extrémité du fil du galvanomètre.

J'ai fait alors chauffer l'acide jusqu'à ébullition, et poussé à la chaleur rouge la seconde lame de platine sur la flamme d'esprit-de-vin, puis j'ai fait tourner la machine tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. Et maintenant, en plongeant dans l'acide la lame rougie, je devais apprendre d'une manière certaine si le système pouvait conduire un courant électrique.

Or quoique je fisse tourner la machine avec une rapidité considérable, et qu'ainsi je permisse à la lame rougie de jouer alternativement le rôle de pôle positif et de pôle négatif, je n'ai obtenu absolument aucun effet. Dans les deux cas je n'ai pas aperçu la plus légère trace de courant. J'ai répété plusieurs fois cette expérience avec mon ami Wilhelm Weber, et jamais je n'ai obtenu qu'un résultat négatif.

On est donc obligé de conclure de toutes ces expériences que, dans les circonstances sous l'empire desquelles a lieu le phénomène de Leidenfrost, le liquide est véritablement isolé du métal chaud, et le moyen le plus naturel de rendre compte de cet isolement serait peut-être de l'attribuer à l'absence d'un contact immédiat; mais on ne peut en aucune façon le faire dépendre d'une force particulière de la résistance au passage, puisque celle-ci, du moins entre des corps de même température, diminue à mesure que cette température s'élève.

APPENDICE. — *Sur la prétendue résistance au passage entre des conducteurs métalliques.*

Dans son Mémoire sur les courants magnéto-électriques qui cheminent alternativement en sens contraires, de la Rive prétend que ces courants traversent d'autant *plus aisément* une

série de métaux alternants, que le nombre des alternatives est plus considérable, la longueur totale de chaque métal restant la même. *Un* demi-mètre de fil de cuivre soudé à *un* demi-mètre de fil de fer, et introduit dans le circuit de la pile magnéto-électrique, lui a donné au thermomètre de Breguet, qui était également dans ce circuit, un échauffement de 75°. *Deux* quarts de mètre de fil de cuivre, soudés alternativement avec *deux* quarts de mètre de fil de fer, lui ont donné 76°. *Quatre* huitièmes de mètre de fil de cuivre, soudés alternativement avec *quatre* huitièmes de mètre de fil de fer, lui ont donné 77°.

D'après cela, selon de la Rive, le courant magnéto-électrique, en passant d'un métal dans un autre, éprouverait comme une résistance *négative*. C'est ce qu'il considère comme une des différences spécifiques qui distinguent les courants magnéto-électriques, ou du moins les courants qui cheminent alternativement en sens contraires, des courants voltaïques.

Ce résultat singulier et contraire à toute analogie m'a engagé à le soumettre de nouveau à l'examen, et j'y ai procédé au moyen de l'appareil suivant.

Qu'on se représente deux barreaux cylindriques ayant chacun deux pieds de long et une ligne d'épaisseur. Tous les deux sont formés d'*argentane* et de *fer* en longueurs égales, mais avec cette différence que dans l'un un barreau d'argentane de 12 pouces est soudé à un barreau de fer de 12 pouces, tandis que dans l'autre 12 morceaux d'argentane ayant chacun un pouce de long, sont soudés alternativement à douze morceaux de fer de même longueur. Le premier barreau ne renferme donc qu'*une* alternative, le dernier au contraire en présente *vingt-trois*, tandis que chez l'un et chez l'autre la longueur totale de chaque métal est la même.

J'ai introduit alors successivement chacun de ces barreaux dans le circuit de la pile magnéto-électrique, après avoir en outre introduit chaque fois, pour modérer la force du courant, 30 pouces du fil (de mesure) d'argentane; puis j'ai ob-

servé quel était l'échauffement au grand thermomètre à air, pour la durée et la rapidité ordinaires de rotation de la machine (15 secondes à 15 alternatives par seconde). Voici les résultats que j'ai obtenus :

Avec le barreau à *une* alternative (moyenne de 10 expériences)	84°,35
Avec le barreau à *vingt-trois* alternatives (moyenne de 8 expériences)	84°,24
Différence. . . .	0°,11

Avec une force de courant moindre, produite par l'introduction de 50 pouces de fil de mesure, j'ai obtenu :

Avec le barreau à *une* alternative (moyenne de 3 expériences)	55°,31
Avec le barreau à *vingt-trois* alternatives (moyenne de 3 expériences)	54°,93
Différence. . . .	0°,38

Ainsi, dans les deux cas, le barreau à *une* alternative a donné un échauffement un peu plus fort que celui à 23, et il résulterait de là que le dernier offrirait une résistance un peu plus grande.

Ce résultat serait tout à fait analogue à celui que présentent les alternatives de métaux et de liquides. Je ne veux pas non plus le rejeter d'une manière décisive; toutefois en considérant que chacune des indications ne diffère que de ± 1°,0 de la moyenne, et que cette valeur moyenne, avec un nombre si considérable des alternatives des métaux, ne diffère que de 0°,4 au plus pour les deux barreaux, je trouve beaucoup plus naturel de conclure : *que les deux barreaux offraient une égale résistance, et que par conséquent il n'existe pas de résistance au passage entre les métaux*. Mais, en tout cas, je crois avoir

la conviction que l'existence d'une résistance négative de cette espèce est suffisamment réfutée par les expériences précédentes.

Je me suis servi dans ces expériences de morceaux d'*argentane* et de *fer*, placés alternativement les uns à la suite des autres, parce que ces substances peuvent développer une force thermo-électrique considérable à leurs points de contact. Il est vrai que, dans le cas actuel et par l'effet du changement continuel dans la direction du courant magnéto-électrique, cette force ne peut pas se réaliser, ni développer des contre-courants thermo-électriques comme Peltier en a produit pour la première fois au moyen de courants galvaniques. Mais on devait bien supposer que, s'il peut y avoir en général une résistance au passage entre des métaux, elle doit se manifester d'abord là où il y a aussi la possibilité d'une force thermo-électrique considérable. Les expériences que j'ai rapportées démontrent que, du moins aussi longtemps que cette force n'entre pas en activité, il n'existe pas non plus de résistance au passage.

Enfin, j'ai recherché aussi s'il existe une résistance au passage entre des *liquides*, mais jusqu'à présent je ne suis parvenu à aucun résultat décisif. Cette recherche présente une difficulté particulière, en ce qu'on est obligé de donner toujours une épaisseur considérable à la couche du liquide qu'on introduit comme écran, et que la résistance de conductibilité de cette couche acquiert ainsi une influence proportionnellement très-grande. Si l'on veut que les expériences aient la plus grande simplicité, il faut que les deux liquides dont on fait usage possèdent une même conductibilité ; et même alors la vessie animale, dont on doit se servir comme moyen de séparation entre les deux liquides, exerce une action perturbatrice, car elle présente une certaine résistance, ainsi que je m'en suis convaincu directement par des expériences.

CONCLUSION.

En considérant l'ensemble des expériences que je viens d'exposer, et en m'appuyant sur l'exactitude de ce qui a été dit relativement à l'absence de polarisation, que présentent les lames qui ont conduit les courants alternatifs dans les liquides, je me crois en droit de tirer les conclusions suivantes :

1° Il y a indubitablement, à la surface de contact entre les corps solides et les corps liquides, une résistance au passage indépendante de la conductibilité électrique qui se manifeste dans l'intérieur des corps; et cette résistance ne se montre pas seulement pendant la durée de l'action du courant électrique, mais elle existe dès qu'il commence à passer.

2° Cette résistance varie suivant la nature du liquide et celle du métal avec lequel il est en contact.

3° Elle dépend en grande partie de l'état de la surface du métal.

4° Elle est une fonction de la force du courant dans chacun des points de la surface de contact entre les corps solides et les corps liquides, étant d'autant plus grande que cette force est moindre. C'est pour cela précisément que la force totale du courant restant la même dans la surface de contact, elle n'est pas dans un rapport simplement inverse avec la grandeur de cette surface, mais dans un rapport moindre.

5° Elle diminue avec l'élévation de la température.

6° Il n'existe point de résistance au passage entre des métaux.

Ces résultats, dont l'exactitude m'est démontrée par la répétition et la modification des expériences, ne me laissent pas hésiter à regarder comme inexactes les données fournies par Mr. de la Rive ; ils ne font d'ailleurs que confirmer (et en quelques points rectifier et étendre) les principes établis par Fechner, et ils ont cet avantage essentiel de n'être pas déduits

par le calcul de phénomènes compliqués, mais d'être le produit immédiat de l'observation, et de se trouver à l'abri des influences perturbatrices de la polarisation des lames métalliques.

D'où vient que presque partout je me trouve en opposition directe avec Mr. de la Rive? C'est ce que je ne saurais indiquer avec précision. Je ne puis apercevoir aucune source d'erreur dans le procédé que j'ai employé; et pour ce qui est des observations, je suis certain de ne m'être pas trompé, à moins que je ne pusse pas non plus m'en rapporter au jugement de témoins oculaires compétents. Si donc quelqu'un élève malgré cela quelque doute sur l'exactitude de ces observations, je ne puis que l'inviter à les répéter de la manière que j'ai indiquée.

Je n'ai d'ailleurs point eu d'autre but dans cette étude, que d'établir l'existence de la résistance au passage comme fait. D'où provient-elle? quelle liaison y a-t-il entre elle et la polarisation? ce sont des questions qui resteront pour le moment sans explication. Je ne veux point non plus essayer de décider maintenant, si et jusqu'à quel point la résistance au passage est modifiée par une polarisation simultanée des lames, quoiqu'il soit nécessaire de le savoir si l'on veut appliquer convenablement les résultats décrits ci-dessus aux phénomènes de la pile voltaïque. Je n'ajoute plus qu'une seule observation, c'est que, si l'on réussissait à prouver que la polarisation est dans un rapport direct avec la force du courant, on aurait découvert ainsi une nouvelle différence essentielle entre ce phénomène et la résistance au passage.

QUELQUES OBSERVATIONS SUR LE MÉMOIRE DE M. POGGENDORFF, par M. le Prof. A. DE LA RIVE.

J'ai rapporté presque textuellement, dans l'extrait qui précède, le travail de Mr. Poggendorff; je n'en ai supprimé que quelques notes, étrangères jusqu'à un certain point à l'objet spécial du Mémoire, et sur lesquelles je reviendrai dans l'instant. Mais auparavant j'ai quelques mots à dire sur le Mémoire lui-même.

Le travail que j'ai publié dans le n° 1 des *Archives de l'Electricité* [1] et dans les *Mémoires de la Société de Physique*, a paru presque en même temps que celui de Mr. Poggendorff, avec lequel il a quelques points communs. Je ne chercherai pas, dans ce moment, à examiner les différences qui existent entre les résultats de mes recherches et ceux qu'a obtenus le savant physicien allemand, en ce qui concerne la transmission des courants électriques à travers des conducteurs alternativement solides et liquides. Ces différences, comme il sera facile de le démontrer, tiennent bien plus à quelques diversités dans la manière d'opérer qu'à la nature même des phénomènes. Mr. Poggendorff n'a jamais pu réussir à trouver que la résistance au passage devînt nulle, c'est-à-dire qu'il a toujours observé que les courants électriques dirigés alternativement en sens contraires diminuaient d'intensité quand ils rencontraient, dans leur trajet à travers un liquide, un diaphragme métallique. Mais il a réussi à montrer que cette diminution d'intensité, ou cette résistance au passage, était d'autant moindre, que les

[1] Archives de l'Electricité, t. I, p. 175.

courants étaient plus forts, qu'ils se succédaient plus rapidement, que les diaphragmes métalliques avaient déjà servi plus longtemps, qu'ils étaient, enfin, plus susceptibles d'être attaqués chimiquement par les liquides. Que peut-il y avoir d'étonnant si, en réunissant dans quelques cas au plus haut degré toutes ces circonstances favorables, je suis parvenu à annuler complétement toute résistance au passage?

Je ne veux pas, dans ce moment, traiter la question d'une manière approfondie, je préfère attendre que le travail expérimental qui s'y rattache et dont je m'occupe dans ce moment, soit complétement terminé; mais il m'est impossible de laisser passer le Mémoire de Mr. Poggendorff sans l'accompagner encore d'une ou deux observations.

Je me permettrai d'abord d'adresser un reproche à l'auteur: c'est sa trop grande partialité pour ses compatriotes. Il semblerait, à l'entendre depuis quelque temps, que tout ce qui s'est fait et se fera en électricité est déjà contenu dans les travaux de Ohm et de Fechner. Aujourd'hui, suivant lui, c'est Fechner qui a découvert la résistance au passage; ceux qui ont précédé l'avaient à peine entrevue.

Loin de moi de nier le mérite des travaux de Ohm et de Fechner: j'ai eu plus d'une fois l'occasion d'en reconnaître le mérite; j'ai moi-même déploré que plusieurs des personnes qui s'occupent d'électricité ne les aient pas connus plus tôt, et j'ai eu le plaisir de contribuer à en répandre la connaissance. Mais c'est, à mon avis, nuire à leurs auteurs, que de vouloir en exagérer la portée. Les recherches de Ohm, plus théoriques qu'expérimentales, partent d'une hypothèse plus que contestable sur la nature de la force qui détermine le développement de l'électricité dans la pile voltaïque. Elles aboutissent, il est vrai, à une loi remarquable; mais cette loi est loin de renfermer tout le secret de la science électrique, comme ses admirateurs passionnés semblent souvent le prétendre. Quant aux travaux de Fechner, plus pratiques que ceux de Ohm, je re-

connais qu'ils ont aussi une très-grande importance, par le nombre considérable de faits bien observés qu'ils renferment, et par les conséquences que l'auteur en tire. Mais, tout en admettant que Fechner a étudié en détail le phénomène de la transmission des courants des conducteurs solides aux liquides, et qu'il a constaté la résistance que ces courants rencontrent à passer des uns aux autres, je ne puis pas cependant accorder qu'il soit le premier qui ait découvert ce genre de phénomènes. Mr. Poggendorff lui-même reconnaît que ce n'est que d'une manière indirecte que Fechner a constaté l'existence de cette résistance. D'ailleurs, longtemps auparavant, Ritter l'avait démontrée dans son travail sur les piles secondaires; moi-même, en 1825, et Mr. Marianini en 1826, nous l'avons étudiée, et nous avons cherché à en déterminer les lois.

Mais voici ce que dit Mr. Poggendorff, c'est que, n'ayant pas distingué dans le phénomène de la résistance au passage la partie de l'effet qui est due aux polarités secondaires qu'acquièrent les lames, de celle qui, suivant lui, est due à la résistance elle-même, Ritter, Marianini et moi, nous n'avons point constaté l'existence de cette résistance. Je ne nie point que le phénomène que nous avons observé et étudié successivement ne soit un phénomène complexe; mais peu importe. Qu'avons-nous dit? Quand un courant rencontre dans un liquide un diaphragme métallique, il éprouve une diminution d'intensité. Tout le monde reconnaît que ce fait est exact; nous n'en avons point recherché la cause, mais nous l'avons étudié chacun dans notre point de vue, et nous l'avons trouvé soumis à des lois dont l'exactitude a été généralement reconnue. Maintenant, que le fait lui-même soit dû à certaines causes plutôt qu'à d'autres, c'est un point de recherche dont je ne nie nullement l'importance, puisque moi-même je l'ai abordé; mais il ne doit pas, à lui seul, faire disparaître le fait fondamental, et faire mettre à néant tous les travaux auxquels l'étude de ce fait fondamental a donné naissance.

Indépendamment de mon travail sur ce sujet, publié en 1825, j'ai cherché, dans un second Mémoire publié en 1828 [1], à déterminer les différentes circonstances qui influent sur le passage de l'électricité à travers des conducteurs alternativement solides et liquides ; j'ai eu occasion de constater le rapport suivant lequel l'accroissement de la surface métallique en contact avec le liquide augmente la facilité de transmission, ainsi que l'influence de la nature relative du diaphragme métallique et du liquide. Or ces résultats, qui sont indépendants de toute hypothèse sur la cause même du phénomène, me paraissent avoir de l'intérêt, et présenter des applications de divers genres, en particulier à la théorie de la pile. Mais voilà que plus tard je trouve qu'avec des courants magnéto-électriques, ou, ce qui revient au même, dirigés alternativement en sens contraires, la résistance que présente au passage de ces courants un diaphragme métallique placé dans un liquide, peut devenir nulle. Un savant distingué, Mr. Vorsselman de Heer, en conclut que cette résistance n'est, dans les cas ordinaires, qu'un effet des polarités secondaires. Aussitôt Mr. Poggendorff semble, à son tour, en conclure que mes premières recherches n'ont plus de valeur; et cependant lui-même n'admet pas les conséquences de Mr. Vorsselman de Heer. — Je ne peux pas m'étendre pour le moment sur ce sujet ; comme je l'ai annoncé, j'y reviendrai très-prochainement. Mon seul but, dans ce que j'en ai dit, a été d'insister sur un point auquel, à mon avis, le savant rédacteur des *Annalen der Physik* n'a pas assez d'égard, c'est de distinguer les faits et les lois qui demeurent, quelque nom qu'on leur donne, des explications et des hypothèses auxquelles ces faits et ces lois donnent naissance, et auxquelles on est souvent obligé de renoncer.

J'ai dit, en commençant ces observations, que, dans l'extrait que j'ai donné du Mémoire de Mr. Poggendorff, j'avais

[1] Annales de Chimie et de Physique, t. XXXVII, p. 225.

omis quelques notes peu importantes, ou qui ne se rattachent que d'une manière indirecte à l'objet spécial du travail. J'ai fait allusion à l'une de ces notes dans ce qui précède. Il en est deux autres sur lesquelles j'ai aussi quelques remarques à faire. Mr. Poggendorff développe, dans l'une de ces deux notes, les raisons pour lesquelles il nie l'exactitude d'une expérience importante que j'avais rapportée dans mes premières recherches sur les courants magnéto-électriques ; c'est celle qui est relative à l'espèce d'interférence à laquelle donne naissance l'emploi simultané d'un conducteur liquide et d'un conducteur solide pour conduire les courants alternatifs. Mr. Poggendorff n'a pas réussi à obtenir les mêmes effets que moi, il cherche à démontrer que je me suis trompé, et attribue essentiellement mon erreur à l'emploi que j'ai fait du thermomètre de Breguet. Dans mon dernier travail sur ce sujet, qui a paru en même temps que celui du savant physicien allemand, j'ai refait les mêmes expériences et obtenu les mêmes résultats auxquels j'étais déjà parvenu, mais en employant le thermomètre à air. Il est facile, en comparant la manière dont j'ai opéré avec celle dont a opéré Mr. Poggendorff, de comprendre comment il n'a pas réussi à constater les expériences que j'ai décrites et que j'ai eu occasion de répéter devant un grand nombre de personnes. Je reproche seulement à Mr. Poggendorff d'avoir trop facilement admis que je m'étais complétement trompé, ce qui peut très-bien m'arriver, je ne le nie pas ; et de n'avoir pas supposé la possibilité qu'il fût lui-même dans l'erreur, ce qui peut aussi lui arriver.

Dans l'autre note, Mr. Poggendorff revient, à l'occasion de l'influence que peuvent exercer sur la transmission du courant des conducteurs tout métalliques, mais d'une nature alternativement différente, sur l'erreur que j'ai pu commettre dans l'étude que j'ai faite de ce sujet, en me servant du thermomètre métallique de Breguet. J'ai déjà répondu sur ce point dans le Mémoire qui a paru et que j'ai plusieurs fois cité. Mais Mr. Pog-

gendorff ajoute, dans cette note, qu'il m'a communiqué par lettre les principaux résultats de ses recherches, et qu'il n'a pas eu le bonheur de m'en voir reconnaître l'exactitude. Il est vrai que je ne suis pas d'accord avec l'auteur sur plusieurs des conséquences qu'il tire de ses expériences ; mais je n'ai nullement nié l'exactitude des faits qu'il a observés, ne trouvant point étonnant que, opérant dans des circonstances différentes de celles dans lesquelles j'ai moi-même opéré, il n'ait pas obtenu les mêmes résultats que moi. Que Mr. Poggendorff à son tour me rende la même justice, et nous nous entendrons bien vite : car dans le domaine des sciences physiques, il ne peut y avoir longtemps désaccord entre des hommes qui, sans esprit de système, cherchent uniquement la vérité, mais qui se trouvent quelquefois être en contradiction apparente les uns avec les autres, parce qu'ils ne suivent pas toujours la même route pour parvenir à découvrir cette vérité.

QUELQUES OBSERVATIONS SUR LA RÉSISTANCE QUE LES COURANTS ÉLECTRIQUES ÉPROUVENT A PASSER DES CONDUCTEURS SOLIDES DANS LES LIQUIDES, par Mr. VORSSELMAN DE HEER. (*Ann. der Physik, etc.*, t. LIII, p. 31.)

Mr. Vorsselman de Heer, dans un écrit fort intéressant intitulé : *Recherches sur quelques points de l'électricité voltaïque*, avait cherché, comme je l'ai dit plus haut, à donner une explication de la résistance qui fait l'objet de cette note, en l'attribuant aux polarités secondaires qu'acquièrent les lames métalliques qui transmettent dans un liquide conducteur les courants électriques. Il avait appuyé son explication sur un fait observé par Mr. de la Rive, savoir qu'avec des courants magnéto-électriques, dirigés alternativement en sens contraires, il peut arriver dans quelques cas que la résistance devienne nulle; il avait trouvé également que les lames, dans ce cas, n'acquièrent aucune polarité.

Mr. Vorsselman, dans la notice dont nous donnons aujourd'hui l'extrait, revient sur ce sujet. Il commence par reconnaître que c'est à Ohm, comme Mr. Poggendorff l'a fait remarquer, qu'appartient l'explication qu'il a donnée, explication dans laquelle il croit devoir persister d'après de nouvelles observations. Nous allons le laisser exposer lui-même ses recherches, qui ont été faites surtout en vue de répondre aux objections que Mr. Poggendorff avait présentées contre le résultat de son premier travail. — Nous reproduisons d'autant plus volontiers dans son entier la courte notice de Mr. Vorsselman, que la question y est très-nettement posée, et que nos lecteurs comprendront ainsi plus facilement l'intérêt que nous mettons

à leur présenter toutes les pièces du procès qui se débat devant eux.

. . . . . . Si l'on fait passer dans un liquide une quantité déterminée d'électricité, au moyen de deux lames de métal de mêmes dimensions et à égale distance l'une de l'autre dans toute l'étendue de leur surface, l'intensité du courant variera selon la nature du métal dont les électrodes sont composés. Un galvanomètre introduit dans le circuit indiquera une intensité beaucoup moindre avec un système de lames de platine, qu'avec un système de lames de cuivre ou de fer; en général, le courant sera d'autant plus fort, que les deux lames de métal seront plus attaquées par le liquide. Dans toutes ces expériences, la force électromotrice et la conductibilité de la pile demeurent en apparence les mêmes; à quoi donc peut être due la différence qu'on remarque?

Fechner cherche la cause de cette différence dans une espèce particulière de résistance, qui, selon lui, a lieu lors du passage de l'électricité du métal dans le liquide et réciproquement. Ici encore, dans son opinion, il doit se trouver pour l'électricité une espèce d'obstacle qui produit le même effet qu'une augmentation dans la longueur totale de la pile. Le contact entre un métal et un liquide n'est pas toujours du même ordre, pour ainsi dire; ainsi entre l'eau et le fer, le contact est beaucoup plus intime qu'entre l'eau et le platine. Selon Fechner, la résistance au passage revient au même qu'une diminution dans la *conductibilité* de la pile; c'est une résistance *passive*, selon l'expression très-juste de Poggendorff.

Ohm explique tout par ce qu'il appelle la polarisation, ou l'effet d'un courant secondaire. Toute action chimique de l'électricité, ou, à proprement parler, toute action de l'électricité doit devenir une source d'électricité. Si donc il se fait une décomposition d'eau sur les électrodes (et la décomposition a

lieu quoique l'œil ne puisse pas encore distinguer des bulles de gaz), les deux lames de métal forment un élément voltaïque dont la réaction suffit pour rendre compte du phénomène. Ainsi la résistance au passage, selon Ohm, consiste en une diminution de la *force électromotrice* de la pile; c'est, dans le fait, une résistance *active*.

J'ai cherché, dans un paragraphe de mes *Recherches sur quelques points de l'électricité voltaïque*, à réfuter l'explication de Fechner, en m'appuyant principalement sur les deux arguments suivants :

1. Dans *toutes* les expériences qui ont servi à poser le principe de l'existence de la résistance au passage, il y a une polarisation.

2. Quand on met obstacle à la polarisation, tous les phénomènes de la résistance au passage cessent aussi d'être sensibles.

En réponse au premier de ces arguments, Mr. Poggendorff dit que je n'ai point démontré que la polarisation soit l'unique cause du phénomène : « Les expériences ne prouvent pas que cette polarisation soit la *seule* cause de la diminution, et qu'il ne se trouve pas dans la pile, déjà *avant* cette diminution, un obstacle différent. »

L'observation est parfaitement juste. Mais n'aurait-on pas plus de droit encore de demander aux partisans de la théorie de Fechner de prouver que la polarisation *n'est pas*, ni ne peut être la *seule* cause du phénomène, mais qu'il faut nécessairement en chercher une autre *outre* celle-là. Or avant d'admettre *deux* causes diverses pour rendre compte d'un même phénomène, il est toujours bon de se convaincre si une *seule* ne suffit pas. *Entia non sunt multiplicanda*. Mais ni Fechner ni personne n'a fourni cette preuve.

Lenz a cru trouver une preuve décisive en faveur de la résistance au passage, en faisant usage d'un courant magnéto-électrique instantané, ou plus exactement, d'une très-courte

durée. Un courant de cette espèce a donné une déviation de 9° avec un système de platine, et de 47° avec un système de cuivre. Mais c'est précisément en cela que gît l'erreur. On a admis (d'après Fechner) que le courant secondaire a besoin d'un certain temps, de quelques secondes par exemple, pour se développer, et qu'ainsi il ne peut pas être excité par un courant magnéto-électrique qui a une très-courte durée. Cette opinion n'est pas exacte. La première particule d'eau qui se décompose, produit déjà, par ce fait même, une hétérogénéité entre les deux lames, et par conséquent un élément voltaïque, un courant secondaire [1]. Le courant secondaire est plus fort avec le système de platine qu'avec celui de cuivre; ainsi s'explique la différence que Lenz a remarquée. Ce qu'on perd, en apparence, dans le courant primitif, on le retrouve dans le courant secondaire.

Pour en avoir la preuve expérimentale, il faudrait inventer un appareil avec lequel le courant secondaire, après la suspension du courant primitif, pût se décharger *instantanément* au moyen d'un circuit distinct. Voici comment j'ai satisfait à cette condition.

Je prends une machine magnéto-électrique de construction ordinaire (fig. 1), dont le fil de 1500 mètres de longueur roulé autour de l'armure est fixé par une extrémité à l'axe de rotation *p*, et par l'autre à la douille P convenablement isolée de l'axe. L'axe *p* est en contact avec un godet de mercure *b*, au moyen d'un secteur de cercle *i*. Une *tige de bois* suffisamment isolée sert à prolonger l'axe jusqu'au point *q*; là une pièce de métal, formée d'un secteur de cercle *k* joint à un cercle entier *l* qui plonge dans le godet de mercure *a*, est fixée au bois. Le secteur de cercle *k* plonge, comme *i*, dans le godet de mercure *b*, mais de manière que l'un sort du mercure quand

[1] D'après Mr. Schœnbein, une seule décharge d'une bouteille de Leyde suffit pour produire un courant secondaire. (A. DE LA R.)



l'autre y entre, sans que jamais ils s'y trouvent tous les deux à la fois.

Dans le vase A plongent les deux lames de métal, que parcourt le courant primitif et dont il fait ainsi un élément d'un courant secondaire ; une des lames communique avec le godet *b*, l'autre avec le godet *m*, tous les deux remplis de mercure.

MN et *mn* sont deux galvanomètres. MN sert à déterminer la force du courant primitif, *mn* celle du courant secondaire. L'extrémité M du premier communique par un fil avec le pôle P, l'extrémité *n* du second avec le godet *a*, et les deux extrémités N, *m* communiquent entre elles.

Maintenant si l'armure est dans la plus grande proximité possible de l'aimant en fer à cheval, le secteur de cercle *i* est sur le point de plonger dans le godet *b*. Lorsque l'armure a fait ensuite une demi-révolution et qu'il s'est ainsi développé dans le fil un courant d'induction, le secteur *i* se trouve être en contact avec le godet *b* ; mais si l'on continue alors à tourner, le secteur *i* sort du mercure au moment où *k* y entre.

Tandis que le segment *i* plonge dans le godet *b* après une demi-révolution de l'armure, le courant d'induction suit la route marquée par *p i b* A *m* N M P *p* et polarise ainsi les lames en A. Le galvanomètre *m n* est en dehors du circuit. Mais un instant après, dès que *i* sort du mercure et que *k* y plonge, le circuit s'établit par les points A *m n a l k b* A ; le courant secondaire se décharge ainsi par le galvanomètre M N, tandis que le galvanomètre *m n* reste en dehors du circuit.

Passons maintenant aux expériences que j'ai faites avec cet cet appareil. J'ai pris un système de deux lames de platine, un autre de deux lames de cuivre, et un troisième de deux lames de fer, tous exactement de même largeur et de même longueur, et fixés solidement à égale distance les uns des autres. La quantité d'électricité a été constamment celle qui est produite par une demi-révolution de l'armure. Elle est constante, autant

qu'on peut naturellement l'admettre ; mais l'*intensité* et par conséquent l'effet produit sur le galvanomètre sont naturellement d'autant plus forts que la révolution se fait avec plus de rapidité. Cette différence ne subsisterait pas longtemps, si, au lieu d'un galvanomètre ordinaire, on se servait du magnétomètre à inducteur de Gauss, qui met 40 secondes pour faire une oscillation ; dans ce cas la déviation serait entièrement indépendante de la rapidité de la révolution qui s'accomplit dans deux secondes. A défaut d'un semblable inducteur, il a fallu me contenter d'un galvanomètre ordinaire. En outre il a fallu imprimer directement avec la main le mouvement à l'armure, ce qui a fait que la rapidité n'a pas pu être toujours exactement la même dans chaque expérience. Quelquefois on a donné à dessein à l'armure un mouvement un peu plus ou un peu moins rapide.

Une condition essentielle à remplir si l'on veut obtenir de bons résultats, c'est que les lames soient parfaitement homogènes avant l'expérience. On peut facilement s'assurer si cette condition est remplie, en fermant le circuit pendant que le secteur *k* plonge dans le godet *b* et que *i* en sort. Si l'aiguille du galvanomètre *mn* reste alors immobile, les lames en A sont homogènes dans les limites de l'observation. Avec le cuivre et surtout avec le fer, on trouve presque toujours une hétérogénéité sensible ; il faut alors retirer du liquide l'une des deux lames, et l'essuyer un peu afin de la rendre parfaitement homogène avec l'autre. Cette partie préliminaire du travail en est aussi la plus désagréable.

J'ai consigné dans le tableau suivant les résultats de quelques expériences. Le liquide conducteur A était de l'eau qui tenait en dissolution 0,05 d'acide sulfurique en volume.

Numéro de l'expérience.	Système de	Intensité du courant primitif et par conséquent indiquée par le galvanomètre MN.	Intensité du courant secondaire et par conséquent indiquée par le galvanomètre *mn*.
1	platine	16°	104°
2		17	116
3		24	l'aiguille fait un tour (entier[1]
4		19	136
5	cuivre	30	91
6		32	100
7		29	88
8		28	85
9	fer	37	38
10		37	39
11		40	46
12		39	44

Les deux galvanomètres ne sont pas à beaucoup près sensibles au même degré. Le premier, MN, me sert dans les expériences publiques ; l'autre est de construction plus parfaite. Dans le but de connaître leur sensibilité relative, j'ai fait passer le *même* courant successivement dans l'un et dans l'autre, en interrompant les communications *an* et A*m*, et en faisant communiquer A avec *n*. J'ai trouvé :

Galvanometre MN.	Galvanomètre *mn*.
16°	135°
25	l'aiguille fait le tour.

Quelque imparfaits que soient les instruments, il résulte cependant de ces expériences que le système avec lequel le courant *primitif* est le plus faible, donne précisément le courant

[1] Dans cette expérience on a donné à dessein une grande rapidité au mouvement; dans les autres on a tâché de maintenir le mouvement toujours le même, autant que cela peut se faire quand on fait usage de la main.

secondaire le plus fort, et réciproquement; que, par conséquent, il y a très-certainement aussi une polarisation avec le courant instantané magnéto-électrique, et que la différence dans l'intensité du courant primitif peut très-bien s'expliquer par la différence dans l'intensité du courant secondaire, c'est-à-dire, en d'autres termes, par une résistance *active*.

Si, au lieu du galvanomètre imparfait, on se servait de deux inducteurs de Gauss, il serait aisé de déterminer *numériquement*, à l'aide de l'appareil que j'ai décrit, la *quantité* de l'électricité soit dans le courant primitif, soit dans le courant secondaire. On pourrait ainsi rechercher si l'intensité plus faible du courant primitif n'est pas entièrement compensée par une plus grande dans le courant secondaire. Si, avec une pile qui conserverait toujours la même conductibilité, la *somme de ces deux quantités* était constamment la même pour les divers systèmes de platine, de cuivre, de fer, le principe d'une *résistance au passage* dans le sens que Fechner a donné à cette expression, serait complétement renversé; et si l'on trouvait quelque différence dans la valeur de ces sommes, il faudrait alors chercher une autre explication. Je laisse à d'autres physiciens le soin de faire cette expérience, qui est décisive pour la théorie de la résistance au passage ; mais tant qu'elle n'est pas encore faite, je crois, pour rester fidèle au principe que j'ai déjà énoncé : *Entia non sunt multiplicanda*, devoir rejeter comme une hypothèse le principe de la résistance au passage.

Ma seconde objection contre l'existence de cette résistance était fondée sur les résultats fournis par les expériences de Mr. de la Rive, qui dit expressément, en parlant des courants *alternatifs* magnéto-électriques (avec lesquels il n'y a pas de polarisation lorsqu'ils *se succèdent assez rapidement*) : « *La diminution d'intensité qui résulte pour eux de leur passage du conducteur métallique au conducteur liquide paraît être presque nulle*, etc. ». Ces expériences m'ont inspiré d'autant plus de confiance que Mr. de la Rive les avait entreprises sans

aucun esprit de système, et qu'il ne s'est pas même aperçu qu'il ruinait lui-même par la base sa propre théorie de la résistance au passage.

Mr. Poggendorff a senti toute la force de cette objection, et il dit positivement à l'occasion de ce travail : « *L'expérience doit pouvoir décider s'il existe ou s'il n'existe pas une résistance de cette espèce*[1]. Ainsi sa défense de la résistance au passage repose uniquement sur ce qu'il n'a pu obtenir la confirmation du résultat de l'expérience de Mr. de la Rive.

Lorsque deux physiciens défendent des *théories* différentes, il faut nécessairement que l'un ou l'autre, ou même peut-être tous les deux soient dans l'erreur. Mais lorsque par des *recherches* ils arrivent à des résultats différents, cela ne peut être dû qu'à ce qu'ils ont travaillé dans des circonstances différentes. Poggendorff a trouvé pour le courant magnéto-électrique *alternatif* une résistance au passage très-sensible ; de la Rive, au contraire, n'en a pas trouvé trace : il est donc important d'examiner avec soin les circonstances dans lesquelles leurs expériences ont eu lieu.

Mr. Poggendorff avait 15 courants alternatifs dans une seconde, Mr. de la Rive en avait 27. Le premier s'est servi pour liquide d'eau mélangée avec $\frac{1}{12}$ d'acide sulfurique ; le second, au contraire, d'eau mélangée avec $\frac{1}{2}$ ou $\frac{1}{3}$ d'acide nitrique. Ces différences me paraissent suffisantes pour expliquer celles que les résultats ont présentées.

Deux courants magnéto-électriques qui se succèdent rapidement, se neutralisent à peu près l'un l'autre, si l'on considère leurs effets magnétiques ; mais il n'en est point de même en ce qui concerne leurs effets chimiques, et moins encore relativement à leurs effets calorifiques. On peut en avoir aussitôt la preuve en ce que, lorsqu'on fait tourner rapidement la machine de Saxton, la décomposition de l'eau n'est pas arrêtée, mais

[1] Comptes rendus mensuels de l'Académie de Berlin, 1841, p. 26.

augmente au contraire, *jusqu'à une certaine limite*, avec la rapidité du mouvement. Mr. de la Rive a démontré expérimentalement l'existence de cette limite, et l'a atteinte dans une de ses expériences en faisant passer 30 courants dans une seconde; mais on peut aussi s'en rendre raison théoriquement. La limite se manifeste, à ce qu'il paraît, dès que les *maxima* de deux courants alternatifs se succèdent dans un espace de temps plus court que celui qui est nécessaire à l'électricité pour passer d'un électrode à l'autre.

Or, de même qu'il se fait alors une décomposition d'eau alternativement dans un sens et dans l'autre, il doit aussi y avoir une polarisation alternative. Il doit se développer une série de courants secondaires de nature oscillatoire comme les primitifs, et dont l'effet doit s'exercer constamment dans une direction opposée. La force électromotrice de *chacun* des courants secondaires dépend du temps pendant lequel la décomposition a lieu dans le même sens; elle diminue donc à mesure que la rapidité du mouvement rotatoire augmente. On sait en outre que, lorsqu'on fait usage d'acide sulfurique, le courant secondaire est nécessairement beaucoup plus faible que lorsqu'on se sert d'acide *nitrique*. N'est-il donc pas possible que la réaction du courant secondaire devienne sensible avec 15 courants dans une seconde quand on a de l'eau mélangée avec $\frac{1}{12}$ d'acide sulfurique, et qu'elle échappe à l'observation avec 27 inversions dans une seconde si l'on se sert d'eau mélangée avec $\frac{1}{2}$ ou $\frac{1}{3}$ d'acide nitrique?

Il y a plus encore. Mr. de la Rive dit expressément ce qui est nécessaire pour que la lame interposée ne produise point de diminution dans la force du courant! Il faut pour cela augmenter la surface de la lame, jusqu'à ce que toute trace d'effet chimique disparaisse : *Si la surface en contact avec le liquide est assez considérable pour que les courants magnéto-électriques passent en entier* (comme cela a eu lieu dans les expériences du § 3), *la lame interposée ne produira point d'affaiblissement*

dans l'intensité de ces courants » ; dans ce cas ces courants ne produisent pas de décompositions chimiques [1].

Mr. Poggendorff n'a pas satisfait à cette condition : c'est ce dont il est très-aisé de se convaincre d'après l'expérience qu'il a faite avec une lame de fer placée entre deux lames de cuivre, et dans laquelle le fer s'est recouvert d'une couche de cuivre à l'état métallique. Or s'il y a eu décomposition chimique dans les expériences de Mr. Poggendorff, il doit y avoir eu aussi nécessairement production d'une série de courants secondaires ; et par conséquent le phénomène d'une résistance au passage, qui n'avait pas eu lieu dans les expériences de Mr. de la Rive, a dû se produire.

Au reste, je me suis convaincu directement par l'expérience que, quoique le courant primitif ne dure que $\frac{1}{15}$ de seconde et même moins, pourvu que son intensité soit assez grande, les courants secondaires se développent réellement. En l'absence d'un thermomètre à air j'ai dû me servir d'un galvanomètre, ce qui a rendu nécessaire la construction d'un appareil particulier destiné à rendre sensible le courant secondaire. J'ai aussi fait usage d'un élément de Grove à la place d'une machine magnéto-électrique.

La figure 2 fera comprendre l'appareil dont j'ai fait usage. N*n* sont deux lames de métal, par lesquelles on introduit le courant primitif de la batterie P*p*, tandis que le courant secondaire qui est produit se décharge par le galvanomètre M*m*.

Cela étant, il faut successivement former les quatre circuits suivants :

1. PN et *pn*. Le courant passe à travers ce système.

2. NM et *nm*. Le courant secondaire se décharge à travers le galvanomètre.

3. P*n* et *p*N. Le courant primitif passe à travers le système dans un sens opposé.

[1] *Annalen der Physik*, etc. 1838, t. XLV, p. 413.

4. Nm et nM. Le courant secondaire, dont la direction est maintenant inverse, se décharge par le galvanomètre et produit la même déviation que dans le second cas.

Maintenant pour former avec régularité, et après des intervalles de temps égaux, ces quatre communications alternatives, de manière qu'elles se succèdent très-rapidement, je fais usage de six godets de mercure, et d'un axe de bois AB, auquel est fixée une grande roue et auquel on peut imprimer un mouvement de rotation très-rapide. Cet axe porte des secteurs métalliques qui communiquent deux à deux, et qui plongent en partie simultanément, en partie successivement dans les godets, de manière à établir et à interrompre les communications aux moments voulus.

Si maintenant je me sers d'un simple élément de Grove, avec lequel il ne se fait qu'une faible décomposition de l'eau, je puis encore apercevoir une déviation très-sensible au galvanomètre avec trois tours, c'est-à-dire avec six courants alternatifs dans une seconde. La déviation a lieu à gauche ou à droite, suivant qu'on opère le mouvement de rotation dans l'un ou l'autre sens, ce qui s'explique facilement à l'inspection de l'appareil. Quand l'axe tourne rapidement, le mercure rejaillit hors des godets ; cela m'a engagé à le remplacer par des ressorts qui sont placés dans les godets, et qui par l'effet de leur élasticité appuient fortement contre les secteurs.

Quand on ferait mouvoir par un mouvement d'horlogerie un appareil de ce genre construit avec soin, on pourrait déterminer ainsi la quantité totale d'électricité du courant secondaire *en fonction du temps*. On trouverait alors combien de temps il faut, dans les circonstances données de l'expérience, pour que le courant secondaire pût avoir son entier développement, ou, en d'autres termes, pour élever au maximum sa force électromotrice.

Pour le moment, je me suis convaincu que, avec un courant d'intensité suffisante, $\frac{1}{15}$ de seconde est un intervalle assez

long pour développer un courant secondaire très-sensible. Mais plus on augmente l'intensité du courant primitif et la délicatesse du galvanomètre, plus le mouvement de rotation doit être rapide pour compenser l'effet de deux courants alternatifs sur la lame N*n*.

Ces observations me paraissent suffisantes pour ramener à leur vrai point de vue les expériences de Mr. Poggendorff, d'ailleurs importantes par elles-mêmes, et pour justifier l'opinion où je suis que, dans l'état actuel de la science, le principe d'une *résistance passive au passage* est une hypothèse dont la nécessité n'est point démontrée. Je resterai nécessairement attaché à cette opinion, jusqu'à ce que le résultat de l'expérience décisive que j'ai proposée oblige d'admettre une explication différente. En attendant, j'ai déjà fait observer qu'il se peut très-bien que les particules de gaz qui adhèrent aux lames à l'état invisible, fassent changer la conductibilité du circuit, sans qu'on ait besoin de recourir pour cela à une résistance au passage d'une nature particulière, comme celle que Fechner admet.

Observations sur le Mémoire qui précède, par Mr. Poggendorff.

Ce Mémoire a été composé à l'occasion de la première notice publiée sur mes expériences dans le cahier de janvier des rapports mensuels de l'Académie de Berlin, et dont j'avais envoyé un exemplaire à Mr. Vorsselman de Heer ; il ne se rapporte donc pas au travail complet sur la résistance au passage, qui se trouve dans le cahier d'avril des *Annalen*[1]. En lisant attentivement ce dernier travail, on reconnaîtra que les principales objections que Mr. Vorsselman élève contre moi, y sont

[1] Voyez l'article en tête de ce cahier des Archives.

déjà renversées. — En effet, je me suis servi non-seulement de 15 courants alternativement contraires par seconde, et d'eau mélangée avec $\frac{1}{12}$ d'acide sulfurique, mais aussi de 30 courants alternativement contraires par seconde, et d'acide sulfurique étendu seulement du double de son poids d'eau. Et pourtant j'ai trouvé dans ce dernier cas, avec non moins de certitude que dans le premier, une diminution dans la force du courant par l'interposition d'un arc intermédiaire. Le principal motif qui m'a empêché de faire toujours usage d'une aussi grande rapidité de mouvement, c'est uniquement que je me suis aperçu que l'observation est alors plus incertaine qu'avec une rapidité moindre. J'en ai fait ailleurs l'objet d'une observation particulière. Au reste, l'incertitude ne tombe que sur la *grandeur* de l'affaiblissement du courant, puisqu'on ne peut répondre, à deux degrés près, de la justesse de l'indication du thermomètre, ni, à deux tours près, du nombre de ceux que fait l'armure. Quoi qu'il en soit, il ne peut rester le moindre doute sur l'*existence* de cet affaiblissement, parce que des différences de 18° à 20° dans l'échauffement dépassent de beaucoup toute erreur possible dans l'observation. Une preuve infaillible m'en a été fournie par mon aide, auquel le but et le résultat de mes expériences étaient entièrement inconnus. J'ai introduit *à son insu* l'arc intermédiaire, et il a fait de lui-même la remarque qu'il devait s'être dérangé quelque chose à la machine, puisque le thermomètre ne montait plus avec la même force que dans les expériences précédentes (où il n'y avait pas d'arc intermédiaire).

Dans cette série d'expériences on n'a *point* vu paraître *de gaz* sur les lames. On se tromperait, cependant, si l'on croyait que cela n'arrive que lorsque le mouvement de rotation a la même rapidité que dans les expériences dont il s'agit. Dans la plupart des expériences que j'ai faites avec 15 inversions par seconde, que les lames fussent de platine ou de cuivre, je n'ai *point* aperçu *de gaz* non plus, pas même *la plus petite trace*.

Cette disparition des gaz sur les lames ne tient point du tout uniquement à la *force du courant*, mais tout autant et plus encore peut-être à la *durée* de son *action* et à la modification qui en résulte dans l'état de la surface du métal. Plus on expose *longtemps* ou *souvent* des lames à l'action du courant, moins l'affaiblissement du courant est considérable; mais, même alors que toutes les bulles de gaz ont complétement disparu, l'affaiblissement du courant est encore très-considérable, quoiqu'il n'y ait plus que 15 inversions par seconde. Aussi n'ai-je donné, dans mon travail, que les résultats des *dernières* expériences, dans lesquelles j'ai obtenu des valeurs presque constantes pour cet affaiblissement, et dans lesquelles il ne s'est fait pour ainsi dire aucun dégagement de gaz, ce que j'avais négligé d'indiquer.

Même dans les toutes premières expériences, faites avec un couple de lames qui n'avait pas encore servi, la quantité de gaz que le courant alternatif dégage, est *petite*, et sans aucune proportion avec celle que développe un courant qui se meut avec la même rapidité que le premier et toujours dans le même sens, quoiqu'une portion assez notable de sa force soit perdue par l'effet de chacun des inverseurs au moyen desquels on donne à ce second courant une direction constante.

Je partage entièrement l'opinion de Mr. V., qu'il serait à désirer qu'on pût annihiler la résistance au passage; et moi-même, je l'avouerai, en y réfléchissant depuis, je me suis pris à douter un peu que, dans les expériences avec le courant alternatif, *toute trace* de polarisation soit réellement éloignée, même lorsqu'on n'aperçoit plus de gaz; mais je suis, maintenant encore, tout aussi fermement convaincu qu'auparavant, que les objections de Mr. V. ne renferment aucune preuve décisive contre l'existence de la résistance au passage, et ensuite que l'action exercée sur le courant alternatif par une lame interposée ne peut pas être *uniquement* attribuée à la polarisation.

Mr. V. pose encore en principe, et ses propres expériences avec un seul et même couple de lames le démontrent, que la polarisation *croît* avec la force du courant. Il faudrait, d'après cela, que l'affaiblissement produit dans le courant alternatif par l'effet d'une lame interposée *s'accrût* avec la force du courant, si cet affaiblissement était effectivement dû à une polarisation. Mais il diminue à mesure que la polarisation augmente, et réciproquement. Quand l'armure a la même rapidité de rotation, et que tout dégagement de gaz a depuis longtemps cessé, cet affaiblissement augmente, si l'on diminue la force du courant en introduisant un fil dans le circuit, ou en mettant des barreaux sur l'aimant en fer à cheval.

Je ne vois pas, pour le moment du moins, comment on pourrait expliquer ce phénomène autrement qu'en admettant une résistance au passage. Je me propose de faire plus tard de nouvelles recherches sur cette résistance. Si je trouve un fait qui soit manifestement contraire à cette hypothèse, je serai le premier à l'abandonner; mais jusqu'à présent les objections de Mr. V. ne renferment rien, selon moi, qui puisse m'engager à la regarder comme non fondée.

DE L'INFLUENCE QU'EXERCE LE VOISINAGE D'UN FIL CONDUCTEUR SUR L'ÉCHAUFFEMENT PRODUIT PAR LA DÉCHARGE ÉLECTRIQUE, par Mr. RIESS. (*Annal. der Phys.* t. LI, p. 177.)

(Extrait.)

Dans un Mémoire, inséré dans les Annales de Poggendorff (1840 n° 10), Mr. Riess continue ses recherches sur le pouvoir échauffant de la décharge électrique; il s'occupe surtout de la réaction que subit le fil conducteur (fil principal), qui sert de passage à la décharge, de la part d'un second fil voisin (fil secondaire), séparé du premier par une substance isolante. On estimait l'échauffement d'après les indications d'un thermomètre à air, dont la boule était traversée par un fil mince de platine, faisant partie du conducteur principal. Les principaux résultats, obtenus par Mr. Riess en modifiant les circonstances de l'expérience, sont les suivants:

1. Le fil conducteur principal était essentiellement formé, 1° du fil thermométrique de platine (longueur 143,5 lignes, diamètre 0,55 lig.); 2° d'une spirale de fil de cuivre (longueur 13 pieds, diamètre 0,55 lig.) destinée à subir l'influence du fil secondaire. De même, le fil secondaire se composait, outre quelques parties accessoires, d'une spirale de même nature, placée à 1 ligne de distance de la première, et d'un fil d'argentane (Neusilber) de 600 pieds de longueur, destiné à former entre les deux bouts de la spirale un circuit fermé plus ou moins long (circuit additionnel). En modifiant la longueur de ce fil additionnel on obtint les échauffements suivants, exprimés en parties de l'échauffement total que produisait la même décharge sans circuit additionnel:

Circuit additionnel.	Echauffement relatif	Circuit additionnel.	Echauffement relatif.
0	100	88,7	61
2,4 pieds	81	138,0	66
4,8	70	187,3	71
9,8	55	236,6	73
19,7	52	285,9	76
29,6	48	384,5	81
39,4	52	483,0	84
59,2	54	581,7	87

En interrompant entièrement le circuit, l'échauffement relatif redevient 100.

Il suit de là, que l'addition d'un circuit secondaire *fermé* diminue en général l'échauffement dans le fil principal; mais que cette diminution atteint un maximum, qui, dans l'expérience citée, s'élevait à 52 pour cent de l'effet total et répondait à une longueur de 29 pieds. A partir de ce point, l'échauffement augmentait de nouveau, et se rapprochait, pour un circuit de plus en plus long, de l'effet primitif, qu'on retrouvait exactement en interrompant complétement le fil secondaire.

2. Le rapport des échauffements, correspondant à différentes longueurs additionnelles, restait le même en employant des décharges de forces différentes ; il variait, par contre, lorsqu'on modifiait la faculté conductrice du fil principal. En se servant, par exemple, d'un fil thermométrique de platine de 89 lig. de long et d'un diamètre de 0,043 lig. (au lieu de 0,082), on obtint les effets suivants :

Circuit additionnel.	Echauffement relatif.
0	100
29,6	82
49,3	78
69,1	78
236,6	91
571,9	99

Les diminutions, dans ce cas, sont beaucoup moindres ; le maximum est réduit à 22 pour cent, et n'est obtenu qu'au moyen d'un fil additionnel de 49,3 pieds. Ainsi, à mesure que la partie du fil principal exposée à la réaction, constitue, quant à sa conductibilité, une partie moins importante du fil de décharge total, l'influence du fil secondaire se trouve être diminuée. Le fil de platine, employé dans cette expérience, modifiait par son interposition l'effet de la décharge, à peu près comme l'aurait fait un fil de cuivre de 568 pieds de long sur 0,55 lig. de diamètre.

3. Pour reconnaître l'influence qu'aurait la longueur de la partie du fil principal exposée à la réaction, on ajouta à ce fil, aussi bien qu'au fil secondaire, une seconde spirale de 58 $\frac{1}{2}$ pieds de longueur sur $\frac{2}{3}$ lig. de diamètre. En faisant agir, d'abord la spirale de 13 pieds, puis celle de 58, la faculté conductrice du fil principal restant invariable, on trouva les nombres suivants :

SPIRALE DE 13 PIEDS.		SPIRALE DE 53 $\frac{1}{2}$ PIEDS.	
Circuit additionnel.	Echauffement relatif.	Circuit additionnel.	Echauffement relatif.
0	100	0	100
9,9	86	9,9	57
19,7	81	19,7	42
29,6	76	29,6	31
59,2	88	59,2	28
98,6	90	78,9	25
187,3	99	187,3	28
285,9	99	285,9	31
571,9	100	571,9	44

Le circuit interrompu 100.

La petite spirale donnait une diminution de 24 pour cent, répondant à un fil additionnel de 29,6 pieds; la grande spirale une diminution de 75 pour cent pour 78,9 pieds. Dans le premier cas, la diminution de l'échauffement était nulle pour

187,3 pieds; dans le second, elle s'élevait pour 580 pieds encore à 56 pour cent. Ainsi l'influence du fil secondaire est d'autant plus grande, que la partie active est plus considérable ; mais elle exige, pour atteindre le maximum, un circuit additionnel plus long.

4. Afin d'éliminer autant que possible l'influence toujours très-considérable du fil thermométrique, lequel, en vertu de sa ténuité, formait un obstacle essentiel au passage de l'électricité, l'on fit passer la décharge à travers un fil de platine de 61,5 lig. de longueur seulement, et de 0,080 lig. de diamètre, entouré de la spirale d'un thermomètre de Breguet. La grande spirale de 53 pieds étant mise en action, on obtint :

Longueur additionnelle.	Echauffement relatif.	Longueur additionnelle.	Echauffement relatif.
0	100	49,3	14
4,8	54	»	»
9,9	32	185,9	16
19,7	21	382,4	21
29,6	16	571,9	28

Le circuit secondaire interrompu 91.

L'abaissement s'élève ici, en conséquence de la grande conductibilité du fil de décharge, à 86 pour cent de l'effet total ; en même temps, l'échauffement a plus de peine à se rétablir que dans aucune des expériences précédentes.

5. En remplaçant dans les expériences (1) le circuit d'argentane (Neusilber) par un fil de platine, choisi de manière à opposer le même obstacle au passage d'un courant électrique, on trouva les mêmes abaissements de l'échauffement ; d'où il résulte que le circuit secondaire n'intervient, comme au reste on pouvait le présumer, qu'en conséquence de sa faculté conductrice.

L'explication que donne Mr. Riess des faits précédents et surtout de l'existence d'un maximum dans la réaction du fil se-

condaire, formant un circuit fermé, revient à admettre une certaine *durée* dans le passage de la décharge. Alors le courant produit par influence dans le fil secondaire, quoique un peu en retard par rapport au commencement de la décharge, réagira néanmoins sur une partie de cette même décharge, en retardera le mouvement, et en diminuera le pouvoir échauffant qui, d'après les recherches antérieures de Mr. Riess, dépend essentiellement de la promptitude de l'écoulement électrique. La prolongation du circuit secondaire a maintenant le double effet, d'abord de ralentir le courant qui s'y développe par l'effet de la décharge, et d'augmenter par là sa réaction sur le fil principal; en second lieu, d'affaiblir ce courant, et de diminuer au contraire cette même réaction. D'abord le premier effet prédomine, et l'on voit augmenter la réaction; mais bientôt le courant secondaire s'affaiblit tellement, que son influence disparaît de plus en plus, jusqu'à devenir nulle pour une certaine longueur, qui équivaut à une interruption complète du circuit.

A. M.

Mémoire sur l'électricité atmosphérique, par Mr. E. Plantamour, Prof. d'astronomie à l'Académie de Genève. (Lu à la *Société de Physique et d'Histoire naturelle* dans sa séance du 15 juillet 1841.)

J'ai l'honneur de présenter à la Société les observations de l'électricité atmosphérique, faites à notre Observatoire depuis le mois de septembre dernier (1840), époque à laquelle a été terminé le nouvel appareil. Je ne rapporte pas ici les observations qui ont été faites avec l'ancien appareil, parce que, d'une part, ces observations étaient moins régulièrement faites, et que, d'autre part, la beaucoup plus grande rareté des indications de l'électroscope permet de supposer que l'appareil était moins sensible et moins bon conducteur. Quoique les observations dont je vais parler n'embrassent pas même une année entière, j'ai pensé qu'il ne serait pas inutile de les examiner et de les discuter, afin de voir ce qu'elles peuvent nous faire connaître sur l'état électrique de l'atmosphère, et quelles sont les modifications dans l'appareil ou dans le mode d'observation, qui pourraient amener plus facilement à un résultat.

L'ancien appareil conducteur, donné par Mr. de la Rive, fut cassé par un coup de vent au mois de janvier de l'année dernière ; le nouvel appareil, dû en grande partie à la générosité de MM. de la Rive et Gautier, a été achevé au mois de septembre de la même année, et les précautions qui ont été prises pour en assurer la solidité, font espérer qu'il sera de plus longue durée.

Cet appareil, pour la construction duquel Mr. le professeur Colladon a donné plusieurs directions utiles, se compose d'un mât de sapin, formé de deux pièces, long de 78 pieds, dont la partie inférieure entre de 5 pieds en terre, où elle est

fixée dans une forte semelle de chêne; la partie supérieure porte une tige de verre, longue de 3 pieds et abritée par un chapeau de cuivre; au-dessus se trouve une petite tige de bois de noyer, longue de 5 pieds, qui porte une pointe de platine, laquelle est ainsi à 81 pieds au-dessus du sol. Un fil de laiton plaqué, attaché à cette pointe de platine, descend dans l'entre-sol de la tourelle orientale de l'Observatoire, par un tube de verre qui l'isole du bâtiment. — Un petit électroscope très-sensible à boules de sureau sert à reconnaître la présence de l'électricité, dont un autre électroscope à feuille d'or et à pile sèche donne le signe. J'ai fait construire en outre, par Mr. Noblet, un autre électromètre, semblable à ceux qui se trouvent à l'Observatoire de Paris, et qui permet de mesurer la quantité d'électricité avec une beaucoup plus grande exactitude. Il se compose de deux pailles, dont l'une est immobile, l'autre très-légère et mobile; on mesure les déviations de cette dernière à l'aide d'un microscope grossissant environ douze fois, qui se meut au moyen d'une vis sur une coulisse divisée, et sur laquelle un vernier donne à un centième de millimètre près le mouvement du microscope, en sorte que l'on peut mesurer exactement de petites déviations. Mais, quoique cet électromètre présente l'avantage de l'exactitude, les observations se font avec l'électroscope à boules de sureau, et les chiffres notés dans les tableaux ci-joints désignent les nombres de degrés de déviation indiqués par ce dernier instrument. Voici les raisons de cette préférence : d'abord l'électromètre à paille est moins sensible à cause de l'épaisseur que l'on est obligé de donner à la paille pour qu'elle ait la consistance nécessaire, en sorte qu'il est souvent muet lorsque l'électroscope à boules de sureau indique la présence de l'électricité; ensuite, il arrive fréquemment que l'électricité est pour ainsi dire intermittente, c'est-à-dire qu'elle se manifeste par des impulsions successives de courte durée : le mouvement de la paille est alors trop rapide pour que l'on puisse faire l'observation au microscope.

Du reste, une aussi grande exactitude dans l'observation de la déviation de la paille aurait de l'importance, si l'on se proposait de mesurer d'une manière absolue la tension électrique de l'atmosphère; mais elle en a beaucoup moins lorsqu'on veut seulement obtenir une comparaison de l'état électrique dans différentes circonstances.

Voyons maintenant ce que les indications de l'électroscope font connaître de l'état éléctrique de l'atmosphère. — La déviation des boules de sureau peut indiquer, en premier lieu, la présence d'un corps électrisé dans l'atmosphère, et l'on peut concevoir que l'action de ce corps électrisé sur le conducteur s'exerce de deux manières, ou par influence, ou bien par la communication que les conducteurs, comme la pluie ou la neige, peuvent établir. En effet Mr. Peltier, dans son ouvrage sur les trombes, parle de la quantité considérable d'électricité dont les gouttes de pluie peuvent quelquefois se charger, et il en cite plusieurs exemples. J'ai noté, à la fin des tableaux que je présente, plusieurs cas dans lesquels les indications d'électricité par l'électroscope ont commencé ou cessé au moment où la pluie ou la neige commençait ou finissait, et qui semblent indiquer que la pluie ou la neige pouvait servir de conducteur. En second lieu, la déviation des boules de sureau peut indiquer une différence entre la tension électrique de l'atmosphère à la hauteur où se trouve la pointe de platine, c'est-à-dire à 81 pieds au-dessus du niveau du sol, et à la hauteur où se trouve l'électroscope, c'est-à-dire à 10 pieds au-dessus du sol. Cette différence de tension peut avoir lieu dans les deux sens, c'est-à-dire que la couche supérieure peut avoir une tension électrique plus considérable ou moins considérable que la couche inférieure. La déviation des boules de sureau indique donc une différence entre les tensions électriques des deux couches, mais non le sens dans lequel cette différence a lieu. La non déviation des boules de sureau indique seulement que les corps électrisés dans l'atmosphère, s'il y en a, sont

trop éloignés pour que la pointe puisse s'électriser par influence à un degré sensible à l'électroscope, et que les tensions électriques de l'atmosphère, à 81 pieds et à 10 pieds au-dessus du sol, sont les mêmes, du moins relativement à la sensibilité de l'électroscope.

Lorsque le ciel est parfaitement clair, il n'y a guère lieu de douter que les déviations de l'électroscope soient dues à une différence de la tension électrique à 81 pieds et à 10 pieds de hauteur, plutôt qu'à la présence d'un corps électrisé, qui dans ce cas-là serait invisible. Lorsque le ciel n'est pas parfaitement pur, qu'il est vaporeux, nuageux ou couvert, on ne peut pas savoir si les déviations des boules de l'électroscope sont dues à ce que la pointe du conducteur est électrisée par influence, ou bien à ce que les deux extrémités du conducteur se trouvent dans des couches d'air qui n'ont pas la même tension électrique, ou enfin à ces deux causes réunies. Je crois que l'on pourrait peut-être obtenir quelques données sur ce sujet, au moyen d'une pointe en platine, semblable à celle qui est au sommet du mât, que l'on placerait à la même hauteur que l'électroscope, et que l'on pourrait faire communiquer avec lui au moyen d'un fil conducteur. Toutes les fois que l'électricité indiquée par l'électroscope proviendrait seulement d'une différence entre les tensions électriques à 81 pieds et à 10 pieds, l'électroscope serait muet, si on mettait en communication avec lui la pointe qui se trouve à la même hauteur. Si les boules de sureau dévient quand on met en communication avec l'électroscope la pointe qui se trouve à la même hauteur au-dessus du sol, on pourra regarder comme certaine la présence dans l'atmosphère de corps électrisés qui agiraient sur les deux pointes par influence.

Quelle que soit la cause à laquelle on attribue la production de l'électricité atmosphérique, on est obligé de reconnaître que la vapeur d'eau joue un rôle principal dans la distribution de cette électricité. En effet, c'est la vapeur d'eau qui sert de

conducteur à l'électricité dans l'atmosphère ; en outre, les nuages orageux montrent combien l'état moléculaire sous lequel se trouve la vapeur d'eau, influe sur la quantité d'électricité qui peut s'accumuler dans un volume d'air donné.

Quoique la formation des nuages et la transformation de la vapeur d'eau de l'état invisible transparent à l'état visible vésiculaire ne soient pas encore bien connues, il paraît assez certain que, dans les nuages à l'état vésiculaire, la vapeur se trouve à un état de condensation plus grande que dans l'atmosphère ambiante transparente; on comprend ainsi comment, dans un nuage, l'électricité se trouve plus accumulée dans un espace donné, qu'elle ne l'est dans l'atmosphère ambiante; et elle le sera d'autant plus, que la formation du nuage aura été rapide, et que la condensation est plus considérable. On peut donc se rendre compte de l'électricité indiquée par l'électroscope, lorsqu'il se trouve, au-dessus de l'horizon, des nuages qui peuvent renfermer une quantité d'électricité plus considérable que la couche d'air dans laquelle s'élève le sommet du conducteur. Mais ce qui est beaucoup plus difficile à expliquer, c'est l'électricité atmosphérique qu'indique l'électroscope par un temps serein, et qui est due par conséquent à la différence de la tension électrique dans les deux couches distantes de 70 pieds, où se trouvent le sommet du conducteur et l'électroscope. Cette différence de tension est souvent très-considérable, de manière à donner des étincelles sensibles; le 6 octobre (1840), ces étincelles ont eu jusqu'à une ligne de longueur, et le 15 octobre une ligne et demie.

L'air humide est assez bon conducteur pour que la tension électrique doive s'égaliser rapidement, surtout dans deux endroits à une petite distance l'un de l'autre, à moins qu'une différence dans la constitution physique de l'air ou de la vapeur d'eau, dans ces deux endroits, ne produise une différence dans la capacité électrique de la vapeur d'eau, c'est-à-dire dans la faculté qu'elle a de se charger d'électricité. Pour expliquer ces

grandes différences de tension électrique, dans deux couches d'air aussi rapprochées, il faut donc supposer aussi une différence dans leur constitution physique.

La chaleur est l'agent qui a la plus grande influence sur l'état moléculaire de la vapeur d'eau; il est donc naturel de chercher à comparer la différence de tension électrique des deux couches avec la différence de leurs températures, d'autant plus que les couches d'air dans le voisinage immédiat du sol présentent entre elles des différences de température beaucoup plus grandes qu'à une hauteur un peu plus considérable. En effet, le contact du sol cause, dans les couches inférieures de l'atmosphère, des perturbations très-considérables; ainsi le réchauffement par le soleil, dans un jour serein, fait que les couches voisines du sol sont à une température de plusieurs degrés plus élevée, qu'à une petite hauteur. D'un autre côté, le rayonnement fait que, lorsque le soleil est couché, la surface de la terre se refroidit rapidement; et alors la température va en augmentant depuis le sol jusqu'à une hauteur qui, même en été par un jour parfaitement serein, n'excède pas de beaucoup 100 pieds, d'après les recherches de Mr. Marcet; en hiver, ou par un temps qui n'est pas parfaitement serein, cette limite d'augmentation de température est moins élevée. Donc par les temps clairs, il y a dans les couches inférieures de l'atmosphère, et jusqu'à une hauteur d'une centaine de pieds, des variations de température beaucoup plus considérables que celles qui ont lieu à une hauteur plus grande; il peut même y avoir des différences de plusieurs degrés dans la température de couches d'air situées à cent pieds l'une au-dessous de l'autre. Il ne me paraît donc pas impossible de trouver l'explication de l'électricité accusée par un ciel serein, dans les différences et les variations de température qui ont lieu dans le voisinage du sol.

D'après cela, il ne serait peut-être pas sans intérêt de joindre à l'observation de l'électroscope, celle d'un thermomètre qui

serait fixé au sommet du mât et que l'on pourrait descendre à l'aide d'une poulie, comme Mr. Marcet l'avait fait dans ses observations, afin de comparer la différence de tension électrique des deux couches avec la différence de leurs températures.

J'ajouterai les remarques suivantes sur les observations contenues dans les tableaux que je joins à cette notice. (*Voyez à la fin du volume.*)

1° Ce n'est que par la pluie que l'électroscope a accusé de l'électricité négative. Il y a plusieurs cas où par la pluie l'électricité était, dans des intervalles de temps assez courts, alternativement positive et négative, comme le 19 octobre (1840) par exemple.

2° Par un vent fort il y a rarement de l'électricité, lorsque le temps est clair. Lorsque le ciel est chargé de nuages et que c'est par influence que ces nuages communiquent leur électricité au conducteur, il est évident que le vent ne peut exercer aucune action sur la transmission de l'électricité; cependant, le 7 novembre 1840, on a remarqué que la quantité d'électricité augmentait lorsque les rafales de vent du sud-ouest redoublaient de violence. Mais lorsque le ciel est clair, on trouve peu d'exemples d'électricité par un vent fort, surtout par la bise: les tableaux montrent une absence remarquable d'électricité, toutes les fois que la bise soufflait un peu longtemps ou avec un peu de force.

3° Par un temps couvert, il y a plus souvent de l'électricité lorsqu'il pleut ou qu'il neige, et il y a même plusieurs cas dans lesquels l'électricité a commencé ou cessé de se manifester en même temps que la pluie.

4° Quant au nombre de jours où l'électricité atmosphérique s'est manifestée, dans les différents mois de l'année, on voit que c'est dans le mois de mars, où le temps a été presque constamment calme et beau, que l'électricité atmosphérique s'est manifestée de la manière la plus constante et la plus régulière. On a aussi trouvé, à peu près tous les jours, de l'électri-

cité atmosphérique pendant ces pluies si constantes et si extraordinairement abondantes des mois d'octobre et de novembre de l'année dernière, qui étaient généralement accompagnées d'un fort vent du sud-ouest, mais sans orages proprement dits. Les mois de février 1841 et de décembre 1840, où il faisait le plus souvent de la bise ou du brouillard, offrent le moins d'électricité.

5° Il arrive très-rarement que l'on trouve de l'électricité pendant toute la journée; le plus souvent ce n'est que pendant un petit nombre d'heures, ou même pendant de très-courts moments. Quant à l'heure à laquelle l'électricité se manifeste avec le plus d'intensité et le plus souvent, on éprouve, pour la déterminer, le même embarras auquel donne lieu la grande variabilité du temps dans nos climats pour un grand nombre de questions de météorologie. Ainsi les variations diurnes du baromètre, et même les variations diurnes de température, sont fréquemment altérées par la variabilité du temps; et pour les étudier, on est obligé de choisir des périodes où le temps est plus stable. Cela est surtout nécessaire lorsqu'on veut rechercher l'heure de la journée où l'électricité atmosphérique se manifeste le plus souvent, et on est naturellement obligé de laisser de côté tous les jours où le ciel est couvert de nuages qui peuvent avoir été amenés, par le vent, de régions fort éloignées.

Pendant le mois de mars, qui offre une série presque non interrompue de jours clairs et calmes, on trouve de l'électricité à 8 et à 9 heures du matin, point ou très-peu et très-rarement à midi et à 3 heures; on en retrouve, mais moins constamment que le matin, le soir à 8 h. et à 9 h. D'un autre côté, l'on trouve un assez grand nombre de cas où il n'y avait point d'électricité le matin, le ciel ayant été couvert de nuages ou de brouillards pendant la matinée, et où il y avait de l'électricité à midi, ou l'après-midi lorsque le ciel s'éclaircissait. Néanmoins il paraît, d'après les tableaux ci-joints, qu'il y a en

général, plus fréquemment de l'électricité le matin et le soir que vers le milieu de la journée.

(*Voyez les Tableaux à la fin du volume.*)

SUR LES SOURCES DE L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE, par Mr. Ch. MATTEUCCI.

Ce n'est que depuis les expériences de Volta et de de Saussure, qu'on a tâché de s'expliquer l'origine de l'électricité atmosphérique. L'état électrique qui accompagne la vapeur d'eau, l'hydrogène et l'acide carbonique, qui se forment dans l'ébullition, dans l'action de l'eau et de l'acide sulfurique sur les métaux, dans la combustion, a fait admettre à ces célèbres physiciens que sur la terre il y avait continuellement des actions analogues qui pouvaient produire de l'électricité.—Volta avait supposé que c'était le changement d'état qui était, dans tous les cas, la cause du développement de l'électricité; et il appuyait cette opinion en montrant par l'expérience que le passage de la vapeur d'eau à l'état liquide, comme dans la formation des brouillards et des nuages, produisait de l'électricité. Il expliquait de même l'état électrique des cascades. Depuis lors, on a trouvé que l'eau pure, quand elle se change en vapeur par son contact avec un métal qui n'exerce sur elle aucune action chimique, ne produit pas d'électricité, et qu'il faut pour cela que l'eau évaporée soit chargée d'un sel, d'un acide ou d'un alcali, ou que le métal soit oxidé par la décomposition de l'eau. Tout en admettant l'exactitude de ces expériences, qui sont dues à Mr. Pouillet, il resterait à expliquer l'expérience de Volta, par

laquelle il trouvait que l'électricité était encore développée dans le passage de la vapeur d'eau à l'état liquide.

Malgré ces changements apportés aux résultats de Volta et de de Saussure, on pouvait continuer à regarder la formation de la vapeur d'eau à la surface de la terre, comme la cause de l'électricité atmosphérique : car l'eau qui s'évapore naturellement est toujours chargée d'un peu d'acide carbonique et de substances salines. Ce n'est que dans ces derniers temps que des faits très-importants, découverts en Angleterre, sont venus changer nos idées. Il est maintenant hors de doute que la vapeur d'eau qui se forme dans des chaudières à vapeur et sous une tension très-forte, est fortement chargée d'électricité, au point qu'on peut en tirer des étincelles très-vives. Nous manquons encore d'un travail sur ce sujet, qui nous fasse connaître exactement toutes les conditions nécessaires à la production de l'électricité. On a trouvé en général qu'une forte tension est nécessaire. On ignore s'il faut une action chimique entre l'eau et le métal de la chaudière, ou si l'eau doit être pure; et dernièrement on a annoncé que le seul passage de l'air fortement comprimé, à l'état ordinaire, suffit à la production de l'électricité.

Une expérience de Peltier pourrait nous conduire à expliquer dans quelques cas le phénomène découvert en Angleterre. Peltier a trouvé, que, si l'on verse sur une lame de platine chauffée au rouge une solution saline, le développement de l'électricité n'a lieu qu'au moment où l'eau combinée au sel se dégage de la combinaison avec l'eau.

J'ai rappelé ici l'état de nos connaissances, afin de faire connaître dans quel but j'ai tenté quelques expériences. Nous avons en Toscane un phénomène naturel très-remarquable, et qui est généralement connu sous le nom des *soffioni*, qui développent l'acide borique. J'ai consacré plusieurs jours, à différentes époques des années précédentes, pour étudier la composition de la colonne gazeuse qui s'échappe du terrain par des crevasses. C'est de la vapeur d'eau qui se dégage à une température

de 100° et même davantage, et qui est accompagnée d'une quantité énorme d'acide carbonique. On y trouve également, mais en quantité moindre, de l'acide sulfureux et sulfurique, de l'hydrogène sulfuré, de l'acide hydro-chlorique, du sulfate d'ammoniaque, etc. Cette vapeur d'eau se condense quelquefois suivant la température de l'air, et on voit, surtout le matin, un brouillard épais recouvrir les montagnes d'où le dégagement se fait. La tension et la température de la vapeur doivent être très-fortes à une très-petite distance de la surface : il m'est arrivé plusieurs fois de voir de grosses pierres qu'on jetait sur le trou d'où la vapeur se dégage, être lancées à de très-grandes distances. Il était donc important d'étudier l'état électrique de l'atmosphère près des *soffioni*. A cet effet, j'avais un électromètre à flamme, que je pouvais élever à des hauteurs plus ou moins grandes. J'ai fait mes observations à différentes heures de la journée, et à différentes époques de l'année. J'ai élevé la flamme de l'électroscope à des distances plus ou moins grandes de la colonne de vapeur des *soffioni*; j'ai étudié l'électricité en plongeant la flamme dans la vapeur même, tout près de sa sortie du terrain comme en haut; j'ai varié mes observations de toutes les manières possibles, et *je n'ai jamais trouvé aucune différence dans l'état électrique de l'atmosphère, soit près des soffioni, soit à de très-grandes distances*. J'ai vu quelquefois les signes d'électricité positive que j'avais dans l'air libre à une grande distance des *soffioni*, s'accroître légèrement quand je me rapprochais de la colonne de vapeur, et quelquefois disparaître entièrement.

Les résultats de ces observations sont évidents : on ne peut pas expliquer l'électricité atmosphérique par l'évaporation lente des eaux qui se trouvent à la surface de la terre ; et quand même on voudrait expliquer cette absence d'électricité dans les vapeurs des *soffioni*, en disant qu'elle se neutralise dans son contact avec le sol, objection qui du reste n'est pas d'accord avec les faits rapportés au sujet des chaudières anglaises, il n'est

pas moins raisonnable de conclure que cette objection devrait également s'étendre au cas de l'évaporation lente de l'eau à la surface de la terre. En effet, dans ce phénomène, la vapeur ne se soulève pas d'une manière assez instantanée pour que l'électricité, en supposant même qu'elle pût se produire, n'eût pas le temps de se décharger complétement. Il reste donc encore à trouver la cause véritable de l'électricité atmosphérique. Or la périodicité découverte dans l'état électrique de l'air par un ciel serein, me ferait croire que cette cause doit se trouver dans une des actions générales qui agissent régulièrement sur l'atmosphère et sur la terre.

SUR LES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES DE LA TORPILLE. Mémoire faisant suite à ceux qui sont contenus dans mon *Essai sur les phénomènes électriques des animaux*, par Mr. Ch. MATTEUCCI.

La lecture du travail de Mr. Schœnbein sur les effets électriques du gymnote[1], m'oblige à communiquer quelques observations qu'il m'a suggérées ; j'y ajouterai l'exposition de quelques faits nouveaux que j'ai dernièrement étudiés sur la torpille, et que je reproduirai dans un travail plus étendu, qui fera suite à mon *Essai sur les phénomènes électriques des animaux*.

Je dirai d'abord que l'étincelle électrique n'a été obtenue de la torpille que dans ces derniers temps, mais non pas par Walsh, comme dit Mr. Schœnbein, qui l'a obtenue du gymnote; et pour l'obtenir on n'a pas seulement employé la spirale ou l'appareil de l'extra-courant de Faraday. L'appareil décrit par Mr. Schœnbein, et à l'aide duquel il a obtenu l'étincelle du gymnote, est exactement semblable à celui que j'ai employé pour la torpille,

[1] Voy. *Archives*, n° 2 (Vol. 1) p. 115.

et qui est décrit dans tous mes Mémoires et dans mon Essai, pages 50 et 51.

Mr. Schœnbein semble incliner à croire que l'action nerveuse s'exerce sur l'organe pour réduire les éléments électromoteurs qui, suivant lui, existent dans l'organe même, dans des positions déterminées les uns relativement aux autres, afin que le dégagement ait lieu. Cette hypothèse, qui est exactement celle qui a déjà été mise en avant par Volta, ne peut être en aucune manière adoptée, puisqu'on ne trouve dans la structure de l'organe lui-même aucune analogie avec les appareils physiques ordinaires, au moyen desquels on produit ou l'on condense l'électricité. Je ne suivrai pas l'habile physicien dans les considérations philosophiques auxquelles il se livre à propos de l'électricité du gymnote; mais je passe immédiatement à l'exposition de nouveaux faits que j'ai étudiés sur la torpille, et parmi lesquels il en est qui excluent toute analogie entre l'organe de la torpille et nos appareils électriques.

J'ai dirigé de nouveau mes recherches sur la grande distance à laquelle, dans une masse d'*eau salée*, peut se communiquer la décharge de la torpille. Dans un canal de cette eau, qui est à deux mètres de distance de la torpille, une grenouille récemment préparée se contracte lorsque la décharge a lieu. Ce phénomène me paraissant plus facile à concevoir avec la décharge de la bouteille, qu'en admettant le passage d'un courant électrique, j'ai fait un grand nombre d'expériences sur l'aimantation produite par la décharge de la torpille. On sait, par les expériences de Savary et d'autres physiciens, que la décharge de la bouteille aimante des aiguilles d'acier irrégulièrement, soit quant au sens, soit quant à l'intensité de l'aimantation, et cela suivant la longueur du conducteur, le nombre des tours de la spirale employée, la force de la décharge, les dimensions et le degré de trempe des aiguilles. J'ai donc obligé la décharge de la torpille à passer par un fil métallique dont une partie était pliée en spirale cylindrique; et dans l'intérieur de la spirale

j'ai introduit une aiguille d'acier. J'ai varié la longueur du fil ou arc et son épaisseur; j'ai employé des aiguilles plus ou moins longues, et d'un diamètre plus ou moins grand; je les ai aimantées avec des décharges plus ou moins fortes, mesurées à la déviation du galvanomètre, et j'ai, dans tous les cas, observé que le sens de l'aimantation était constant et qu'il indiquait toujours que le dos de l'animal remplissait le rôle de pôle positif, et le bas-ventre celui de pôle négatif. Ces expériences tendent donc à infirmer l'existence d'une analogie entre la décharge de la torpille et celle de la bouteille.

Je vais rapporter maintenant des expériences relatives à la manière dont se fait la décharge dans l'intérieur de l'organe. —J'ai répété toutes mes expériences sur l'influence qu'exercent sur la décharge les différents points du dos et du bas-ventre, et je n'ai rien trouvé à changer à ce que j'ai dit dans mes Mémoires. Mr. Zantedeschi a dernièrement communiqué au Congrès de Florence des observations qui confirment entièrement mes résultats. Ce même physicien a confirmé, par des observations anatomiques, l'opinion d'après laquelle le lobe électrique doit être regardé comme un véritable renflement de la moelle allongée. Voici les expériences que j'ai faites dans l'intérieur de l'organe.

J'ai coupé horizontalement l'organe d'une torpille vivante, et j'y ai introduit une lame de verre bien recouverte de vernis, de manière à séparer les deux parties de l'organe. J'ai mis en contact les deux faces internes de l'organe séparé par la lame de verre, avec les deux extrémités de platine du galvanomètre. J'ai touché en des points différents ces deux faces nouvelles de l'organe; j'ai opéré ce contact avec des lames plus ou moins larges; j'ai mis en contact des points internes, appartenant au dos, avec des points du bas-ventre, ou vice versa, et la direction de la décharge a été constante, c'est-à-dire que la lame en contact avec la face interne qui appartenait au dos remplissait le rôle de pôle positif, et la lame en contact avec l'autre face

appartenant au bas-ventre, celui de pôle négatif. Ce fait détruit, selon moi, toute possibilité d'analogie entre l'organe de la torpille et les appareils électriques que nous possédons. Quel que soit le point, en effet, où l'on interrompe une pile ou une spirale électro-dynamique, on produit deux nouveaux pôles : l'extrémité qui reste réunie au pôle positif, devient un pôle négatif, et celle qui reste réunie au pôle négatif, devient un pôle positif.

J'ai encore étudié l'action du circuit électrique en opérant rapidement sur l'organe séparé d'une torpille vivante, et en laissant intacts les troncs nerveux. On pose l'organe et ses nerfs sur une lame isolante, et on tient les nerfs bien étendus. On applique les deux fils ou réophores d'une pile à colonne de 20 couples sur un de ces nerfs, à la distance de cinq à six millimètres l'un de l'autre. Les grenouilles posées sur l'organe sautent immédiatement, et l'aiguille du galvanomètre indique une décharge qui a la même direction que la décharge ordinaire, et qui n'en diffère qu'en ce qu'elle a une intensité moindre dans ce cas. C'est un fait que j'avais déjà établi dans mes Mémoires précédents.

J'ai voulu étudier l'action du courant suivant sa direction ; voici ce que j'ai trouvé. Si le courant est dirigé du nerf vers l'organe, la décharge de l'organe a lieu lorsque le courant commence à passer, et l'effet est nul lorsque le courant cesse. Si le courant est dirigé du nerf vers le cerveau, la décharge a lieu lorsque le courant cesse de passer. Pourtant je dois dire que, si on a fait rapidement la séparation de l'organe de la torpille et si on opère immédiatement, on a encore la décharge lorsque le courant dirigé vers le cerveau commence à passer. Toujours est-il vrai que cette action du courant, que j'appellerai inverse, persiste moins que celle qui est exercée par le même courant lorsqu'il cesse de passer.—Ce fait conduit à une nouvelle analogie entre les nerfs de l'organe électrique et les nerfs du mouvement. La différence entre ces nerfs est celle que

j'ai déjà établie, et qu'il est utile de rappeler ici. Lorsqu'on agit avec le courant sur un nerf qui va aux muscles, il y a contraction ; si le nerf va à l'organe de la torpille, on a la décharge. Il faut donc dire que les nerfs qui en partant du lobe électrique vont à l'organe, n'appartiennent proprement ni au mouvement ni aux sens : ce sont des nerfs qui produisent uniquement la décharge électrique.

Pise, le 26 *octobre* 1841.

EXPÉRIENCES FAITES AVEC UNE PILE A FORCE CONSTANTE ET DANS LESQUELLES LES MÉTAUX ONT ÉTÉ BRULÉS DANS UNE SOLUTION ACIDE, par George Mackrell. (*Proceedings of the Lond. Electr. Society;* session 1841—42.)

Dans le cours de quelques expériences exécutées au mois de mai dernier, en compagnie de MM. Pollock et Gann, avec une pile à force constante, formée de 120 paires, nous désirâmes profiter de l'occasion pour répéter celle du prof. Schönbein, relative à l'odeur dégagée par la pile sur l'électrode positif.

Dans ce but, nous nous servîmes d'un voltaïmètre ouvert à fil de platine assez petit, et muni de tubes de verre pour recueillir les gaz séparés. Dès que la communication avec la pile fut complète, nous observâmes des étincelles sur chaque électrode, et de fréquentes explosions; et comme aucune des personnes présentes n'avait encore remarqué ce fait, nous fûmes curieux de l'examiner de plus près, tout offrant de l'intérêt à ceux qui étudient les sciences physiques.

Un verre à boire ordinaire, d'une pinte environ, fut employé pour contenir la solution au travers de laquelle le cou-

rant électrique devait passer ; cette solution était formée d'une partie d'acide sulfurique pour dix d'eau distillée.

Première expérience. Des fils de fer fins, n° 26, furent attachés aux deux extrémités de la pile. Le fil en contact avec l'extrémité positive fut plongé dans la solution, et aussitôt que le circuit fut complété par l'immersion du fil négatif, on vit ce dernier brûler avec une flamme d'un beau rouge. L'expérience fut alors renversée ; le fil négatif fut mis dans la solution, puis le circuit complété au moyen du positif ; ce dernier devint rouge sur une longueur d'environ un pouce et demi, sous le liquide, mais il ne brûla pas. Une lame de platine d'un pouce de long et demi-pouce de large fut ensuite mise en contact avec l'un des fils de la pile, et dans les expériences suivantes cette lame fut toujours plongée la première dans la solution.

Deuxième expérience. La lame de platine étant du côté négatif, et un fil de fer fin du côté positif, le fil devint rouge dans le liquide sur une longueur d'un pouce et demi, comme dans l'expérience précédente ; mais lorsqu'il fut simplement mis en contact avec la surface supérieure du liquide, il entra en fusion.

Troisième expérience. Le fil de fer fut ensuite fixé à l'extrémité négative de la pile : il brûla avec une flamme rouge.

Quatrième expérience. Un fil fin de cuivre attaché à l'extrémité positive fut rougi dans la solution sur un pouce de longueur ; attaché à la négative, il *brûla* avec une flamme bleuâtre.

Cinquième expérience. Une bandelette de zinc, mise à l'extrémité positive, fut de même rougie dans la solution sur une longueur d'un pouce environ ; à l'extrémité négative, elle *brûla* avec une flamme pourpre caractéristique.

Sixième expérience. Avec le platine au pôle positif et du sulfure d'antimoine au négatif, l'antimoine fondit et s'enflamma, en déposant sur le verre et à la surface de la solution une poudre de couleur orangée, ressemblant tout à fait au kermès minéral ; lorsque le sulfure fut à l'extrémité positive, on vit s'élever des fumées blanches, mais le métal ne fut pas enflammé.

Septième expérience. Lorsqu'un fil de fer est assujetti au pôle positif, et un morceau de charbon de bois au pôle négatif, si le fer est plongé le premier dans la solution, dès que le charbon entre en contact avec elle il devient très-brillant ; mais si l'expérience est renversée, cet effet n'a point lieu.

Huitième expérience. On prit ensuite deux lames de platine de la même dimension que la lame ci-dessus ; la négative étant plongée la première dans la solution, le circuit fut complété au moyen de la lame positive, qui devint alors extrêmement chaude, et prit une teinte lumineuse bleuâtre sur les bords. On fit ensuite l'inverse, c'est-à-dire qu'on ferma le circuit avec la négative : aucune lumière ne parut, mais il se fit plusieurs explosions.

On observa, que lorsque le circuit est fermé par la lame positive, il ne se dégage pas de gaz sur l'électrode négatif ; de même il ne se dégageait point de gaz à l'électrode positif lorsque la lame négative était plongée la dernière. Dans le premier cas, l'électrode positif devenait rouge sous le liquide, et dans le dernier le négatif rougit, une fois, dans la partie qui était en dehors du liquide.

Il ne sera peut-être pas hors de propos de rapporter deux autres expériences, qui, bien que sans relation avec *l'ignition* des métaux dans les solutions acidulées, tendent pourtant à montrer la *direction* du pouvoir calorifique dans une pile.

Neuvième expérience. La solution fut ensuite versée dans un tube de verre courbé rectangulairement aux deux bouts |_____| ; lorsqu'on ferma le circuit en plongeant les fils dans chaque extrémité de ce tube, le liquide fut très-rapidement en ébullition, d'abord à l'extrémité négative, puis en avançant vers la positive, et toujours invariablement dans cette direction, quel que fût le fil qui fut plongé le premier.

Dixième expérience. On se servit ensuite d'une boîte d'eau de Cologne bien cimentée en dedans, et dans laquelle on avait

fixé deux cartes pour servir de diaphragme. Un thermomètre plongé dans la case positive indiquait 59°, un autre dans la négative marquait 58°. On mit alors cet appareil en communication avec la pile, et on continua son action durant 10 minutes : alors le thermomètre de la case positive s'arrêta à 65°, celui de la négative à 68°; le premier avait donc monté de 6°, et le dernier de 10°.

Ne semble-t-il pas d'après ces expériences :

1° Que si l'on a un arrangement galvanique dans lequel une solution acidulée complète le circuit, il s'établit sur le cathode une température supérieure d'un degré à celle de l'anode?

2° Ces faits ne pourraient-ils point confirmer l'idée, que les terminaisons métalliques ne sont pas essentiellement les vrais électrodes, mais que la solution même peut en devenir un, puisqu'il paraît que les gaz ne sont dégagés à la surface de la solution que lorsqu'ils sont en contact avec le fil introduit le dernier?

PS. Après avoir recueilli ces notes, j'ai vu un Mémoire publié il y a peu de temps par le docteur Hare, dans lequel il affirme « que douze mois auparavant, en opérant avec un déflagrateur de 300 paires, chacune de 7 pouces sur 3, il observa dans un circuit qui traversait une solution saturée de chlorure de calcium, au moyen d'un fil de platine n° 14 et d'un fil de fer n° 26, lorsque ce dernier servait de cathode et le premier d'anode, qu'il se fit une très-vive ignition, qui causa la fusion du fil fin en globules; mais lorsque la position des fils fut renversée, de telle manière que le fil le plus petit devînt l'anode, l'ignition fut comparativement si faible qu'elle fut insuffisante pour fondre le fil fin de platine. Ce phénomène parut d'abord inexplicable, jusqu'à ce que, l'hiver dernier, le docteur Hare pensa que la séparation et la combustion du calcium pouvaient être la cause de cette chaleur plus forte produite sur le cathode. » Je ne crois cependant pas que cette communication doive m'empêcher de présenter mes expériences à la société,

surtout puisque celle du docteur Hare a été faite dans une solution saturée de chlorure de calcium, et qu'il paraît attribuer la cause du phénomène à ce métal plutôt qu'au pouvoir et à l'intensité de l'arrangement galvanique.

SUR LE FROID PRODUIT PAR LE COURANT ÉLECTRIQUE.

En parcourant le premier numéro des *Archives de l'Electricité* par Mr. le professeur de la Rive, je trouve que le fait curieux découvert par Mr. Peltier, savoir qu'un courant électrique peut produire du froid aux points de soudure des deux métaux bismuth et antimoine, n'a point encore été expliqué. On y observe aussi que l'analogie frappante entre ce phénomène et la production de l'électricité dans les circuits thermo-électriques mérite d'être étudiée. Ce rapport a fixé depuis quelque temps mon attention.

Dans mes *Elementi di Fisico-Chimica* qui s'impriment à Naples, j'ai tâché, à la page 68 du second volume (non encore publié), de montrer qu'on ne saurait expliquer le fait découvert par Mr. Peltier, qu'en le considérant comme un phénomène d'interférence. Ayant depuis lors répété cette expérience, j'ai pensé que, de même que la différence de température dans les deux parties d'une barre métallique produit un courant électrique, ce courant pourrait causer une température différente aux deux extrémités de la barre, et que, de même que la partie chaude pousse le courant vers la partie froide dans le bismuth, et l'inverse dans l'antimoine, le courant pourrait produire de la chaleur dans la partie du bismuth où il entre, et du froid dans celle d'où il sort, et le contraire dans l'antimoine. S'il en est ainsi, le fait de Mr. Peltier se réduit à une loi géné-

rale d'excitation réciproque entre le courant électrique et les deux températures différentes.

J'ai fait faire une barre de bismuth et une barre d'antimoine ayant chacune deux petites cavités pour y placer le thermomètre. En faisant passer par ces lames le courant d'un élément voltaïque à la Wollaston, on a observé dans le bismuth une élévation de température dans la partie où le courant entrait, et un abaissement de température dans celle d'où il sortait. Le contraire arrivait avec l'antimoine. Ainsi, lorsque dans les deux barres soudées de bismuth et d'antimoine il y a une élévation de température au point de soudure, on a un abaissement de température près des deux extrémités, et réciproquement. Cependant, comme le courant échauffait plus ou moins les métaux, quelquefois le refroidissement n'a pas été observé; quelquefois aussi, au moment où le courant entrait dans l'antimoine, le thermomètre descendait pour un instant, et un moment après il s'élevait. En général, l'abaissement de température n'était pas grand, et il n'arrivait pas même à *un degré* de Réaumur. Les effets sont plus considérables dans le bismuth que dans l'antimoine, ce que l'on pouvait bien prévoir d'après l'analogie avec l'autre ordre connu de phénomènes thermo-électriques. J'ai fait passer par la barre de bismuth le courant d'un appareil très-petit, formé par de petites bandes de cuivre et de zinc suivant la méthode proposée par le professeur Dal Negro. Alors le thermomètre, placé près du point d'où le courant sortait, a descendu de plus d'un degré centigrade.

Je ne me suis guère occupé jusqu'ici d'autres métaux. J'ai essayé seulement le zinc, et j'en ai obtenu des résultats assez douteux. Mais il est probable, du moins, qu'en employant des moyens plus délicats que les thermomètres ordinaires, on obtiendra des résultats certains avec le zinc, le fer, et les autres métaux solides.

Rome, 24 *mai* 1841.

J.-B. Pianciani,
Prof. au Collége romain.

DES COURANTS THERMO-ÉLECTRIQUES DU MERCURE, par P.-O. VORSSELMAN DE HEER. (*Annal. der Phys. und Chem.*, t. XLIX, pp. 114 et 119.)

On lit dans l'*Institut* de décembre 1837, page 338, que Mr. Matteucci a fait à l'Académie des Sciences de Paris la communication suivante :

« Si, au lieu de superposer directement les deux fils d'un même métal, placés aux deux extrémités du fil d'un galvanomètre et chauffés inégalement, on les plonge dans du mercure, ou mieux, si on les tient plongés dans ce même métal ou tout autre bain d'alliage métallique, contenu dans deux capsules réunies par un siphon, dont l'une est chaude, l'autre froide, les anomalies, que le fer a présentées dans les phénomènes thermo-électriques, ne s'observent plus. Le cuivre, le platine et le fer, donnent alors des courants, qui vont toujours dans le même sens, c'est-à-dire, du froid au chaud dans les fils qui se touchent. C'est donc à quelque cause d'oxidation ou de surface, qu'est due l'anomalie en question. Le mercure me paraît dépourvu de la propriété de développer les courants thermo-électriques [1]. »

Nobili le premier a fait des expériences de ce genre [2]. Il a pris deux fils parfaitement égaux du même métal, et en a réuni les extrémités avec un bon galvanomètre. L'extrémité de l'un des fils a été chauffée, et, pendant cette opération, Nobili l'a roulée plusieurs fois sur elle-même en bouton pour avoir une masse

[1] *Annalen*, t. XLIV, p. 629, et t. XLVII, p. 600.
[2] Bibl. Univ. 1828, t. XXXVII, p. 118 (anc. sér.).

plus considérable à échauffer; ensuite ce bouton a été mis en contact avec l'autre fil, et alors il s'est développé instantanément dans le circuit un courant thermo-électrique. Ordinairement le courant au point de jonction allait du fil chaud au froid, et retournait ainsi, à travers le galvanomètre, du fil froid au chaud. Avec le fer, le zinc et l'antimoine, le contraire a eu lieu. Telle est l'anomalie qui a été découverte par Nobili, confirmée par Becquerel, et dans laquelle Matteucci veut maintenant reconnaître une loi générale pour tous les métaux.

Mais qu'est-ce qu'a fait Matteucci? Au lieu de mettre en contact immédiat le fil chaud et le fil froid, il établit la réunion par le mercure, et par du mercure placé dans deux vases différents, communiquant par un siphon. Il introduit ainsi un autre métal hétérogène dans la chaîne, et c'est, à ce qu'il paraît, précisément l'effet thermo-électrique du mercure, qui doit rendre raison du résultat de ses expériences, quoique, contrairement au résultat déjà obtenu par Seebeck, il nie expressément l'existence de cet effet.

Les expériences suivantes en donneront la preuve. Je me suis servi d'un excellent galvanomètre, qui appartient à Mr. Kerkhoven, et qui a été construit par notre habile mécanicien Becker. Les fils métalliques avaient de 1 à 1,5 millimètre (*Streep*) d'épaisseur, sur 1 à 2 décimètres (*Palmen*) de long; à chaque expérience on les a soigneusement lavés; les extrémités liées au galvanomètre ont été tenues autant que possible à la température de la chambre, et toutes les expériences ont été répétées plusieurs fois de diverse manière et avec des fils différents.

1) On a d'abord fait usage de deux fils de cuivre égaux; l'un roulé en bouton à une de ses extrémités, celle-ci étant réchauffée à la lampe à alcool ou d'une autre manière. Au contact la déviation a été de 110°, et le courant a marché, au point de contact, du fil chaud au froid.

2) Avec le platine le courant a cheminé du fil chaud au

froid ; avec le zinc et le fer, du froid au chaud. Le bismuth et l'antimoine ont donné des résultats différents, dont je parlerai plus bas.

3) Avec l'argent on a eu constamment un courant du fil froid au chaud ; donc ce métal doit être mis dans la même classe que le zinc et le fer. J'ai obtenu ce résultat soit avec un fil d'argent ordinaire du commerce, soit avec un fil fait d'argent spécialement purifié pour ces expériences.

4) Au lieu de mettre les métaux immédiatement en contact, j'ai établi la communication par l'intermédiaire du mercure placé dans une tasse *e* ; *a* et *b* sont les extrémités du galvanomètre, *ac* et *bd* les deux fils ; l'extrémité de *ac* a été plongée dans le mercure, et celle de *bd* de même, mais après avoir été échauffée. Lorsque la quantité de mercure n'était pas trop considérable, j'ai obtenu des résultats semblables à ceux que je viens de décrire aux paragraphes 1, 2 et 3.

5) Lorsque j'ai chauffé le mercure *e*, et que j'ai plongé d'abord *c* puis *d*, j'ai obtenu des effets anomaux, qui font l'objet d'expériences particulières.

6) J'ai creusé alors dans un morceau de bois un petit canal de un décimètre de long et de deux millimètres de large, que j'ai rempli de mercure. J'ai obtenu ainsi un filet de mercure, qui a été mis en relation à ses deux extrémités avec les deux fils homogènes *ac*, *bd*. Ayant ensuite chauffé, puis plongé dans le mercure, le fil *d*, j'ai obtenu un fort courant de *c* à *d*, c'est-à-dire en apparence du fil froid au chaud ; mais en réalité, du mercure au platine, au cuivre, au zinc, à l'argent, au fer et à l'antimoine, à travers le point d'échauffement.

7) J'ai obtenu le même résultat, lorsque les extrémités du filet de mercure ont été chauffées par l'introduction dans le mercure d'une aiguille incandescente.

8) Lorsque j'ai pris, au contraire, deux bâtons de bismuth *ac*, *bd*, que j'ai chauffé l'un d'eux en *d*, et que je l'ai plongé ensuite dans le mercure, j'ai obtenu un très-fort courant de



d à *c*, par conséquent, selon Matteucci, du chaud au froid, mais en réalité du bismuth au mercure à travers le point d'échauffement. Or si Matteucci voulait être d'accord avec lui-même, il devrait dire : dans tous les métaux le courant thermo-électrique va du froid au chaud, à l'exception du bismuth, où il a une direction inverse. Alors on n'a pas fait autre chose que de transporter l'anomalie du fer au bismuth. Mais il ne peut y avoir, selon moi, aucun doute, que ces expériences indiquent seulement la propriété thermo-électrique du mercure, métal qui est moins négatif que le bismuth, mais plus fortement négatif que les autres métaux, en sorte que nous pouvons établir entre eux l'ordre suivant : bismuth, mercure, platine, cuivre, zinc, argent, fer, antimoine.

9) La vérité de cette conclusion trouve sa confirmation dans le fait suivant : j'ai pris pour *ac*, *bd* deux métaux différents, par exemple *ac* cuivre, *bd* platine. Lorsque j'ai chauffé *d* et que je l'ai plongé dans le mercure, le courant a cheminé de *c* à *d* ; par conséquent, en considérant avec Matteucci le filet de mercure comme indifférent, du cuivre au platine, ce qui est en contradiction avec les expériences de tous les physiciens. En réalité l'élément qui développe le courant est formé du mercure et du platine ; cela résulte déjà de l'espèce du courant qui dure pendant assez longtemps, et dont j'ai parlé dans les paragraphes 6, 7 et 8, tandis qu'il n'est qu'instantané dans les expériences décrites dans les cinq premiers paragraphes.

D'ailleurs, lorsque Matteucci dit qu'il obtient le même résultat *avec tout autre bain d'alliage métallique*, cela tient vraisemblablement à ce qu'il s'est servi d'alliages de bismuth, qui d'après les expériences de Seebeck sont fortement négatifs, et qui par conséquent doivent agir de même que le mercure.

10) J'ai dit que des bâtons de bismuth et d'antimoine présentent des effets anomaux. Au commencement j'ai eu beaucoup de peine à m'expliquer ce que mes résultats renfermaient de contradictoire avec ceux de Nobili et d'autres physiciens ;

après bien des expériences, je crois enfin en avoir trouvé la cause.

Si l'on prend deux petits bâtons de bismuth ou d'antimoine, qu'on chauffe l'un *ac* et qu'on le mette ensuite en contact avec l'autre *bd*, il se développe un courant électrique, *dont la direction dépend de la différence de température*. Si cette différence reste dans de certaines limites, le courant chemine du froid au chaud avec le bismuth, du chaud au froid avec l'antimoine; mais dès que l'on chauffe l'un des bâtons plus fortement que l'autre, la direction du courant est renversée dans les deux. J'ai réussi plusieurs fois, surtout avec l'antimoine, à observer au galvanomètre ce renversement dans la direction du courant. En chauffant fortement, j'ai obtenu d'abord un courant du froid au chaud, de même que Nobili; puis lorsque j'ai fait cesser le contact, que j'ai fait refroidir un peu le bâton à l'air pour opérer ensuite de nouveau la jonction, l'aiguille tournait et déviait dans le sens opposé. Je présume donc que Nobili n'a fait ses expériences qu'à une haute température.

Nous trouvons donc ici, pour le même métal, ce que Becquerel a découvert depuis longtemps pour un couple de deux métaux: cuivre et fer, argent et zinc, or et zinc, et ce qui a lieu de plus pour un couple argent et fer, un renversement du courant, lorsque la différence de température dépasse certaines limites. Il faut cependant avoir soin que les petits bâtons aient une surface propre, sans quoi on obtient il est vrai des effets anomaux, qui sont dus peut-être à une oxidation. J'espère faire encore quelques expériences à ce sujet; mais c'est surtout des recherches et des travaux d'autres physiciens que j'attends le plus de lumière.

Pour le moment je n'ai eu autre chose en vue que de soutenir contre Mr. Matteucci la propriété thermo-électrique du mercure, et de prendre la défense d'une anomalie qui sera peut-être bientôt reconnue comme la conséquence nécessaire d'une cause plus générale.

Les expériences que j'ai décrites précédemment suffisent, je crois, pour démontrer l'existence des courants thermo-électriques du mercure, qui est niée par Matteucci. J'ai trouvé depuis, dans le cahier de novembre 1837, p. 211 de la *Bibl. Univ.*, une exposition détaillée des expériences du physicien italien, et je me crois obligé de revenir encore sur ce sujet.

Matteucci met beaucoup d'importance à l'expérience suivante. Si l'on échauffe le mercure renfermé dans une tasse *e*, et qu'on plonge successivement dans ce mercure échauffé deux fils de cuivre *ac* et *bd*, qui sont en relation avec le galvanomètre, par exemple d'abord *bd* puis *ac*, le courant chemine de *ac* à *bd*, du fil qui a été plongé le dernier à celui qui l'a été le premier, et par conséquent du cuivre froid au cuivre chaud.

Dans le paragraphe 5 de mes expériences, j'avais observé cet effet, et je l'avais considéré comme une anomalie; cependant en y réfléchissant davantage, j'ai trouvé dans ce fait-là précisément une nouvelle preuve en faveur de ce principe, que Mr. Matteucci ne veut pas admettre. En effet qu'est-ce qui arrive? Le fil de cuivre *bd* est plongé dans du mercure chaud; l'électricité positive va donc du mercure au cuivre, et dès que le circuit est fermé par l'immersion du second fil de cuivre, un courant doit cheminer de *e* à *db*, c'est-à-dire en apparence du cuivre froid au chaud, mais en réalité il chemine du mercure au cuivre, au point d'échauffement. Ce courant n'est qu'instantané, parce que les effets ne tardent pas à être égaux, aux deux extrémités *c* et *d*, et par conséquent à se neutraliser.

Si l'on fait l'expérience exactement de la même manière avec deux bâtons de bismuth, le courant suit une route inverse, c'est-à-dire qu'il va du bâton qui a été plongé le premier à celui qui l'a été le dernier, du bismuth au mercure.

L'expérience suivante met hors de doute la justesse de cette explication. Lorsque le fil *bd* plongeait dans le mercure chaud,

j'ai mis en contact avec l'autre fil *ac* non pas le mercure, mais le fil de cuivre *bd* lui-même : le courant a cheminé alors de *bd* à *ac*, c'est-à-dire du cuivre chaud au froid. Dans ce cas la *cause d'oxidation ou d'altération de la surface*, supposée par Matteucci, a été complétement évitée.

Je vois que Matteucci s'est en vain donné de la peine pour obtenir un courant thermo-électrique par le contact du mercure froid avec le chaud, sans l'aide d'aucun métal étranger entre deux. Il paraît cependant ne pas avoir entière confiance à la bonté de son galvanomètre, car il dit : « Quoique le fil du galvanomètre fût peut-être un peu long, je doute pourtant que sur le mercure il y ait eu développement des courants thermo-électriques. »

En effet le fil de son galvanomètre était trop long, et l'aiguille n'était pas assez sensible. Quant à moi, je puis reconnaître distinctement ce courant thermo-électrique avec l'excellent instrument que je dois à Mr. Kerkhoven. Voici la disposition que j'ai adoptée.

J'ai creusé dans une planche un petit canal de 1 à 2 décimètres de long, au milieu duquel en A j'ai pratiqué un trou rond de deux pouces de diamètre, qui est fermé en dessous avec une lame de fer ou de verre. Sous cette lame j'ai placé une lampe pour faire bouillir le mercure qui remplit le trou A et le petit canal ; *a*, *b* sont des fils qui se rendent au galvanomètre. Avec un petit morceau de bois ou de papier, ou de toute autre manière, je puis séparer le mercure qui est à droite de A, de celui qui est à gauche. Alors je chauffe en A, puis je remets en contact le mercure froid avec le chaud, en enlevant la paroi de séparation : et toujours j'ai observé un courant qui va du chaud au froid au point d'échauffement. La déviation produite n'est pas considérable, il est vrai ; elle n'est pas de plus de 6° à 10° ; mais son existence est incontestable. On a évité ici l'influence de tous les corps étrangers. Ainsi non-seulement le mercure possède le pouvoir de développer un cou-

rant thermo-électrique lorsqu'il est en relation avec d'autres métaux, mais il peut encore, comme les autres métaux, devenir électrique par lui-même, simplement par l'effet d'un échauffement inégal.

Le mercure doit, comme tel, être mis dans la même série que le platine et le cuivre; le courant chemine du chaud au froid au point de contact, tandis que pour le fer, le zinc, l'argent, il se dirige du froid au chaud. J'ai vu, cependant, que la direction, pour quelques métaux du moins, varie avec la différence de température. Je n'oserais pas assurer qu'il n'y ait point ici d'anomalie; mais, avant tout, je demanderai pourquoi il faut regarder l'une des directions comme normale ou anomale par préférence à l'autre? Je crois plutôt que toutes ces différences peuvent s'expliquer par une seule cause générale. Si l'on parvient un jour à déterminer avec une précision suffisante la température à laquelle le courant change de direction, soit dans un circuit de deux métaux, soit dans un seul métal, on aura fait un grand pas dans la connaissance de cette force encore si mystérieuse pour nous.

QUELQUES MOTS SUR UNE EXPÉRIENCE DE M. A. DE LA RIVE, par P.-O.-C. VORSSELMAN DE HEER. (*Annalen der Phys. und Chem.*, t. XLIX, p. 109.)

L'élévation de la température diminue la conductibilité pour l'électricité dans les métaux; elle l'augmente dans les liquides. Quoique ce dernier phénomène, d'après Mr. Enschede [1], n'ait nullement encore été démontré, la plupart des physiciens paraissent l'avoir admis. Mr. de la Rive a voulu rechercher ce qui arriverait lorsque le courant électrique passerait d'un métal dans un liquide ou de celui-ci dans le premier, et que l'un et l'autre seraient échauffés. Dans ce but il a pris une petite pile de quatre couples; deux lames de platine, fixées à chacun des deux pôles, plongeaient dans un vase d'eau, un galvanomètre a été mis dans le circuit, et la déviation fut de 12°. Il a ensuite placé sous la lame positive, sur laquelle l'oxigène se dégageait, une forte flamme d'esprit-de-vin, en sorte que cette lame a commencé à rougir, et que la partie plongée dans le liquide a été échauffée par communication au point de faire bouillir ce liquide. Aucun changement ne s'est fait apercevoir dans la déviation. — Il a opéré de même avec la lame négative. Alors la déviation a augmenté, l'aiguille est arrivée à 30°, mais lorsqu'il a enlevé la lampe, la déviation est revenue lentement à 12°. Avec de l'acide étendu la déviation a été de 45°; l'échauffement de la lame positive n'a produit aucun changement; mais celui de la lame négative a fait aller la déviation jusqu'à 80°.

De la Rive en conclut: *que la chaleur n'exerce aucune in-*

[1] *Diss. de calore qui excitatur electricitate*, p. 49.

fluence sur le passage du courant électrique d'un métal dans un liquide, mais qu'elle facilite sensiblement ce passage d'un liquide dans un métal.

Je n'ai rien à dire contre l'expérience de Mr. de la Rive, mais je ne crois pas que la conséquence qu'il en tire soit exacte. Ce qu'il attribue à la chaleur, en qualité de chaleur, n'est que la conséquence du mouvement produit par l'ébullition dans le liquide, mouvement en vertu duquel le contact entre les lames et une nouvelle couche de liquide se renouvelle constamment. Sans chaleur je puis obtenir le même résultat, en agitant quelque peu les lames dans le liquide, ou en remuant un peu ce dernier avec un bâton de verre dans le voisinage de l'une ou de l'autre lame. Voici le résultat de quelques expériences.

J'ai pris une pile voltaïque de cinq couples, chargée avec de l'eau pure. Deux fils de platine plongeaient dans un verre rempli d'eau distillée; le galvanomètre placé dans le circuit a indiqué 45°. Peu à peu la déviation a continué à diminuer par l'effet de ce qu'on appelle la polarisation des électrodes. Ayant alors agité le fil positif, je n'ai vu se produire aucun changement; mais je n'ai eu qu'à toucher le fil négatif, pour augmenter sensiblement la déviation, et l'aiguille a pu être maintenue sans beaucoup de peine à une déviation constante, au moyen d'une agitation continue du liquide. La première déviation a été de 45°, mais elle a été au bout de

	Déviation.	Déviation après l'agitation du fil négatif.
15 minutes.	34°	40°
30 »	16	38
60 »	4	32

L'agitation du fil positif n'a point produit de changement.

Lorsque l'agitation a cessé, l'aiguille est revenue lentement à la déviation précédente.

La même chose a eu lieu avec des fils de cuivre. Voici une de mes expériences.

	Déviation.	Deviation après l'agitation du fil négatif.
13 avril, à 9 h. 0′	52°	
10	38	45°
20	34	45
30	32	40
10 h. 0	25	32
30	15	28

L'agitation du fil positif n'a pas amené le plus petit changement.

Les différences sont moins considérables que pour le platine, comme on pouvait le prévoir par des raisons connues.

L'agitation du liquide dans le voisinage du fil négatif, sert à en éloigner les éléments qui y ont été amenés, et qui sont la cause par laquelle il se développe un courant en sens contraire. L'agitation produit, au fond, le même effet qu'une augmentation dans la surface du fil négatif [1]. Si, en effet, on prend un troi-

[1] En tant du moins que les deux circonstances augmentent l'intensité du courant, sans quoi la cause de leur action pourrait bien être différente. L'agitation du liquide agit, sans doute, sur la force électromotrice en la renforçant ou en la rétablissant (Annal. t. XLIII, p. 461), tandis que l'augmentation de la surface accroît la conductibilité. Cependant je suis d'accord avec l'auteur en ce sens, que la surface du métal négatif, *cæteris paribus*, est modifiée d'autant moins par le dépôt de substances étrangères, qu'elle est plus étendue, et, sous ce rapport, la grandeur de cette surface pourrait contribuer à conserver plus longtemps la force électromotrice. — Mais au premier moment la grandeur prépondérante de la surface du métal négatif n'a pas d'autre influence que de diminuer la résistance de conductibilité, ainsi que je crois l'avoir suffisamment démontré (Annal. t. XLV, p. 407). D'ailleurs l'explication que l'auteur donne de l'expérience de Mr. de la Rive, fait peut-être comprendre en même temps pourquoi Faraday en la répétant ne l'a pu trouver confirmée qu'en petite partie ; il ne semble pas, en effet, que Faraday ait échauffé le liquide jusqu'à la température nécessaire pour déterminer une forte ébullition. (POGGENDORFF.)

sième fil métallique, qu'on le plonge dans le liquide en le mettant en communication avec le fil positif, la déviation reste la même ; mais dès qu'on le met en contact avec le fil négatif, l'intensité du courant est considérablement augmentée.

Dès qu'on ne transporte point dans le liquide d'éléments étrangers, et que par conséquent il ne se fait pas de polarisation du fil, la différence indiquée ne s'aperçoit pas non plus ; un mouvement du liquide près d'un des fils ne produit aucun changement dans l'intensité du courant. Si de la Rive, au lieu de platine et d'acide étendu, se fût servi de fils de cuivre et d'une solution de cuivre, il ne serait pas arrivé à cette singulière conclusion, par laquelle il attribue à la chaleur une si mystérieuse influence sur la transmission de l'électricité.

La même chose se voit avec un simple élément zinc et cuivre. En agitant la lame de zinc, je n'ai vu aucun changement avoir lieu ; mais l'agitation de la lame de cuivre a eu pour effet une sensible augmentation dans l'intensité du courant. Le mouvement a fait éloigner de la surface de cuivre l'oxide de zinc qui y avait été transporté, et, au lieu du cuivre sali recouvert de zinc, j'ai retrouvé, après avoir interrompu le circuit, une surface métallique plus propre.

Lorsque cet élément zinc et cuivre a été plongé, non dans de l'acide étendu, mais dans une solution concentrée de *sulfure de potassium*, la différence a été inverse : il a fallu agiter la lame de zinc, pour augmenter l'intensité du courant. C'est précisément à cette cause qu'est due la supériorité de l'appareil à auges de Wollaston, dans lequel le zinc est enveloppé d'une double surface de cuivre. D'après cette théorie, cet avantage ne peut pas se présenter, oud u moins pas au même degré, dans la nouvelle batterie à force constante de Daniell; il n'est pas nécessaire que la surface de cuivre y soit plus grande que celle du zinc pour le maximum d'effet. Je ne puis dans ce moment examiner si cette conclusion est exacte.

OBSERVATIONS DU RÉDACTEUR.

L'explication que Mr. Vorsselman donne du phénomène que j'ai décrit, et dont il a constaté l'exactitude, me paraît vraie, mais incomplète. Je ne crois point, en effet, que la chaleur agisse directement ; l'auteur m'attribue cependant cette opinion, parce que j'ai simplement rapporté le phénomène que j'ai observé, sans en hasarder l'explication. J'ai toujours cru qu'il y avait un effet chimique que l'élévation de la température déterminait en le rendant plus prononcé. Si une lame de cuivre mise au pôle négatif et plongée dans de l'eau acidulée conduit mieux le courant qu'une lame de platine, c'est qu'elle s'oxide dans le liquide, et que l'hydrogène qui, par l'effet du courant, se développe à sa surface, opère une réduction qui facilite la transmission du courant. La chaleur rend la lame de platine capable, mais à un moindre degré, de jouer le même rôle que la lame de cuivre ; et je me suis assuré, en effet, que le phénomène que j'ai décrit n'a lieu qu'autant que la lame de platine est légèrement attaquée. La même cause qui facilite la transmission du courant doit empêcher la polarisation des lames négatives; mais, tout en admettant que cette absence de polarisation contribue à l'effet observé, je ne saurais cependant lui donner une importance aussi grande que celle que lui attribue Mr. Vorsselman.

(A. DE LA RIVE.)

DE L'ÉLECTROLYSATION, SOIT DÉCOMPOSITION ÉLECTRO-CHIMIQUE, DES COMPOSÉS SECONDAIRES, par J.-Fréd. DANIELL. (Lettre adressée à Michel Faraday, en juin 1839.) (*Phil. Trans.*) [1]

Je suis certain que vous pensez avec moi que la décomposition des composés secondaires par le courant voltaïque, en particulier lorsqu'elle est liée avec celle de l'eau, n'a pas obtenu jusqu'ici toute l'attention qu'elle mérite, et que le sujet est digne de nouvelles recherches expérimentales.

Lorsqu'il se trouve de l'eau dans un électrolyte, vous avez fait observer vous-même qu'elle est probablement toujours décomposée dans ses principes constituants ; et d'un autre côté les anciennes expériences de Sir H. Davy prouvent que s'il se trouve dans l'eau des substances salines, même en très-petite quantité, elles sont aussi ramenées à leurs éléments, ou à leurs principes médiats. On ne s'est jamais occupé, du moins à ma connaissance, de rechercher si ces décompositions simultanées ont entre elles quelque relation. Depuis votre découverte de l'action électro-chimique définie, il devenait très-important de déterminer, dans le cas de la décomposition d'une solution saline, quelle est la proportion du courant qui est employée à

[1] Quoique le Mémoire de Mr. Daniell soit déjà un peu ancien, nous n'hésitons pas à l'insérer à cause de son importance, et parce qu'il n'a été reproduit dans aucun journal français. Ce Mémoire a trait à l'une de ces questions intéressantes qui établissent entre l'électricité et la constitution chimique des corps des rapports immédiats. Il est un exemple de tout le parti qu'on peut tirer des forces électriques pour analyser les forces chimiques, et pour étudier, dans ses détails et dans son jeu interne, le mode d'action de ces forces. (R.)

la séparation de l'oxigène et de l'hydrogène de l'eau, et quelle est celle que prennent l'acide et l'alcali, soit les éléments non métallique et métallique du sel ; enfin il fallait savoir s'il existe quelque relation définie entre les deux électrolytes ainsi décomposés. C'est cette question qui a fait naître les recherches suivantes, dont les résultats m'ont conduit, en ce qui concerne la nature des électrolytes composés et des combinaisons chimiques secondaires, à quelques vues qui m'ont paru mériter l'attention de la Société Royale.

La force voltaïque que j'ai employée dans ces expériences était celle d'une petite pile à force constante de 30 éléments de 6 pouces de haut, et je ne puis m'empêcher d'observer ici, que, sans une pile de ce genre, une recherche de cette nature n'aurait pas pu se faire. Cette pile a été en action presque chaque jour pendant deux mois, en général de cinq à six heures par jour, et les cylindres de cuivre sont par ce fait devenus considérablement plus épais et plus pesants. La dépense et l'action variable des anciennes piles n'auraient pas permis qu'on en fît un usage aussi prolongé.

Le vase que j'ai employé d'abord pour opérer la décomposition, était formé d'un cylindre de verre épais, capable de contenir environ 14 pouces cubes de liquide, et arrondi à ses deux bouts. Je le fis couper longitudinalement en deux parties égales, afin d'insérer entre les deux moitiés une plaque de porcelaine poreuse fine, qui, lorsque le tout fut bien assemblé au moyen de cercles de laiton munis d'écrous, divisait ainsi l'appareil en deux compartiments. Un électrode de platine, de 2 $\frac{3}{4}$ pouces de longueur sur 1 pouce de largeur, passait au travers du fond de chaque compartiment, et arrivait à un godet de mercure extérieur ; dans le haut, un trou pratiqué dans le verre portait un tube courbé aussi de verre, afin de recueillir les gaz dégagés.

Dans une expérience préliminaire, l'un des compartiments fut

rempli d'eau distillée, dont, pendant 24 heures, il ne pénétra pas une quantité notable dans l'autre compartiment.

Un mélange d'acide sulfurique et d'eau fut préparé d'avance dans le but de déterminer, par le procédé ordinaire au moyen de l'alcalimètre, la quantité d'alcali qu'il faudrait employer pour le neutraliser; une solution semblable de carbonate de soude servait à mesurer la quantité d'acide. En calculant les résultats des expériences, 70,8 pouces cubes du mélange des gaz hydrogène et oxigène ont été pris comme l'équivalent de 9 grains d'eau, soit un équivalent d'après l'échelle de l'hydrogène exprimée en grains; de plus, pour faciliter le calcul et la comparaison, et pour obtenir des quantités qui pussent être mesurées avec certitude, les expériences ont été en général continuées jusqu'à ce que la quantité des gaz recueillis indiquât ou moitié d'un équivalent ou un équivalent entier d'eau décomposée.

Première expérience. La cellule fut chargée avec une solution de sulfate de soude (ayant pour pesanteur spécifique 1052), de manière à couvrir les électrodes et à remplir environ la moitié de sa capacité. En établissant les communications avec la pile on vit que la solution conduisait bien, et l'on prolongea la décomposition jusqu'à ce qu'on eût recueilli 20 pouces cubes d'hydrogène au platinode, et 9 d'oxigène au zincode [1]. — La solution du platinode fut ensuite soutirée avec soin au moyen d'un siphon de verre : on trouva qu'elle était fortement alcaline et contenait d'après l'alcalimètre 12 grains de soude libre. La solution zincode était très-acide, et neutralisait une quantité de carbonate de soude équivalente à 15,1 grains d'acide sulfurique.

Les résultats de cette première expérience indiquent donc que la décomposition d'un équivalent d'eau est accompagnée de celle d'un équivalent exact de sulfate de soude, car les dif-

[1] L'auteur se sert de ces dénominations pour désigner les pôles négatif et positif. (R.)

férences sont de peu de valeur. Je ne m'arrêterai pas sur le manque de correspondance exacte entre l'oxigène et l'hydrogène, car il est facile à expliquer ; mais en tenant compte de la pression et de la température dans l'évaluation du mélange gazeux, on a le nombre 28,3 pouces cubes ; de là les proportions suivantes :

70,8 p. c. : 28,3 p. c. = 32 éq. de la soude : 12,8 soude
70,8 : 28,3 = 40 éq. de l'ac. sulf. : 16,1 ac. sulf.

Les résultats de l'expérience, 12 de soude et 15,1 d'acide sulfurique, ne s'éloignent pas des résultats calculés plus qu'on aurait pu l'attendre du mode d'expérimentation. Il est bon d'observer que le niveau de la solution, dans les deux compartiments du vase, changea beaucoup durant l'expérience; à la fin, le liquide était de 1 $\frac{1}{2}$ pouce plus haut au platinode qu'au zincode.

Ces résultats en équivalents exacts sont à eux seuls très-remarquables ; mais j'étais maintenant désireux de déterminer si le pouvoir du courant était divisé également entre ce que l'on a considéré jusqu'ici comme étant les vrais électrolytes équivalents.

Deuxième expérience. L'expérience précédente fut répétée avec la même solution de sulfate de soude; mais on introduisit de plus dans le circuit un voltaïmètre dont les électrodes étaient de même dimension que ceux de la cellule expérimentale ; il était chargé avec le mélange ordinaire d'acide sulfurique et d'eau. L'expérience fut continuée jusqu'à ce qu'on eût recueilli dans le voltaïmètre 70,8 pouces cubes de gaz mélangés ; on trouva alors qu'il s'était dégagé au platinode de la cellule expérimentale 47,5 p. c. d'hydrogène, et au zincode 20,25 p. c. d'oxigène. Le premier nombre est presque exactement égal à l'hydrogène indiqué par le voltaïmètre, tandis que le dernier est un peu plus faible que la proportion équivalente d'oxigène. On ne peut cependant pas mettre en doute que les mélanges gazeux

de la solution saline et de l'acide sulfurique étendu ne fussent égaux en quantité. On trouva de l'acide et de l'alcali libres, au zincode et au platinode, comme dans la première expérience; mais un accident empêcha de les neutraliser, et par conséquent de les doser.

Si maintenant nous regardons, suivant l'habitude, la transmission du courant comme effectuée par le transport de l'oxigène et de l'hydrogène seuls, nous sommes d'abord, ce semble, amenés à la conclusion extraordinaire, que le même courant qui suffit à peine pour séparer un équivalent d'oxigène d'un équivalent d'hydrogène dans l'un des vases, peut séparer en même temps un équivalent d'oxigène de l'hydrogène, et un équivalent d'acide sulfurique d'un équivalent de soude, dans l'autre vase. L'explication d'un tel résultat doit être certainement d'une grande importance.

On peut observer, comme résultat secondaire dans cette expérience, que la température du liquide s'éleva à 130° Fahr. dans la cellule expérimentale, tandis que celle de l'acide dans le voltaïmètre ne dépassa pas 67°, quoique la quantité du premier liquide fût beaucoup plus considérable que celle du second; et que le transport liquide du zincode au platinode eut lieu comme avant, de telle manière qu'à la fin de l'expérience le niveau dans le compartiment du dernier était considérablement plus élevé que dans celui du premier.

La seconde expérience fut répétée deux fois; à chaque reprise l'acide et l'alcali séparés furent neutralisés, et on les trouva en proportion équivalente à celle de l'oxigène et de l'hydrogène dégagés aux électrodes de la cellule expérimentale; ceux-ci étaient aussi en quantité égale à celle du mélange gazeux qu'on obtenait en même temps au voltaïmètre. Quand l'expérience eut continué très-longtemps, les proportions d'acide et d'alcali diminuèrent relativement à celle des gaz, et cela d'autant plus que l'expérience durait plus longtemps. Ce résultat était dû, sans doute, au mélange graduel des liquides des deux

côtés du diaphragme, et à la recombinaison constante de l'acide et de l'alcali. Dans chaque cas, le transport du liquide eut lieu du zincode au platinode, et la température de la cellule expérimentale s'éleva au-dessus de celle du voltaïmètre.

Troisième expérience. La cellule expérimentale fut chargée avec du sulfate de potasse ayant pour pesanteur spécifique 1069; puis une autre cellule partielle avec de l'acide sulfurique étendu pesant 1150, et coloré au zincode avec de l'indigo. Tous les deux furent mis dans le circuit. Après 40 minutes d'action, la solution saline s'était élevée d'un quart de pouce au platinode, et était descendue d'autant du côté du zincode, tandis qu'il n'y avait pas eu de transport dans la cellule de l'acide, et qu'aucune partie de la matière colorante n'avait passé du zincode au platinode. L'indigo avait cependant perdu en entier sa couleur bleue, et était devenu jaune. Le volume du mélange gazeux fut à peu près le même dans les deux cellules, mais la quantité d'oxigène dans l'acide fut un peu inférieure à celle qui se trouvait dans la solution saline, probablement à cause de son absorption par l'indigo. L'acide séparé au zincode et l'alcali au platinode de la solution saline se trouvèrent être, l'un et l'autre, en proportions équivalentes, et également équivalentes au mélange gazeux.

Quatrième expérience. Une solution de nitrate de potasse dont la pesanteur spécifique était 1117, fut mise à la place de celle de sulfate de potasse dans la dernière expérience; on obtint alors 5 pouces cubes d'oxigène au zincode, et 4,3 pouces cubes seulement d'hydrogène au platinode. Lorsqu'on ouvrit l'appareil, il se dégagea une forte odeur d'ammoniaque au platinode, ce qui indiquait évidemment une action secondaire de l'hydrogène sur l'acide nitrique du nitre, et expliquait ainsi pourquoi il y avait moins de cet acide. Après qu'on eut chassé l'ammoniaque par la chaleur, la solution resta encore alcaline, et indiqua 13,5 grains de potasse. La neutralisation de l'acide au zincode indiqua 17 grains d'acide nitrique pur. Ces

nombres ne diffèrent pas beaucoup des proportions équivalentes, qui, en supposant que la détermination de l'acide fût correcte, seraient de 15 acide nitrique et 13,5 potasse. Quant à la quantité d'eau décomposée simultanément, nous ne pûmes dans ce cas l'estimer que d'après la quantité d'oxigène recueilli, laquelle comme nous l'avons vu, est en général inférieure à ce qu'elle devrait être ; mais elle se rapproche pourtant assez de la proportion équivalente, pour nous assurer que celle-ci aurait été le résultat d'une détermination exacte, car :

70,8 p. c. : 54 éq. de l'ac. nitr. = 15,0 p. c. : 14,2 ac. nitr.

Dans cette expérience, il y eut une moindre quantité de solution transportée du zincode au platinode, et la différence de niveau ne dépassa pas les $\frac{3}{16}$ d'un pouce.

Cinquième expérience. L'expérience fut répétée en remplaçant le nitrate de potasse par une solution de sulfate de soude dont la pesanteur spécifique était 1057, et les résultats montrèrent, sans aucun doute, que les décompositions simultanées du sel et de l'eau étaient comme auparavant en proportions équivalentes. Dans cette expérience une quantité de la solution plus considérable que dans tous les cas précédents, fut transportée du zincode au platinode, et la différence de niveau entre les deux côtés du diaphragme s'éleva à deux pouces.

Avant de poursuivre l'objet principal de cette recherche, je désire faire une ou deux remarques sur ce transport extraordinaire qui se fait d'un électrode à un autre, sans décomposition de la substance composée qui est transportée. Il a été observé pour la première fois par Porrett, qui le remarqua dans un vase séparé en deux compartiments par un diaphragme membraneux. Dans chacun des compartiments remplis d'eau il plongea une lame de platine, et il mit ces lames en communication avec les deux extrémités d'une pile galvanique de 80 couples : le liquide de la cellule positive fut transporté presque en entier

dans la cellule négative. On reconnut plus tard que ce phénomène n'avait pas lieu lorsque le pouvoir conducteur de l'eau était augmenté par l'addition de l'acide sulfurique.

Mr. Becquerel a aussi démontré que si au zincode, dans un tube séparé du platinode par un diaphragme poreux, on répand dans l'eau, de l'argile en poudre fine, les particules de cette argile sont portées en avant par le courant de la pile. On a aussi observé que ce transport n'a lieu que lorsque l'eau conduit mal.

Je chargeai avec de l'eau distillée la cellule expérimentale munie du diaphragme poreux, et je trouvai, avec la pile de 30 éléments, que quelques petites bulles de gaz se montrèrent aux deux électrodes, mais qu'aucune ne se dégagea; cependant, au bout de 40 minutes, le liquide s'éleva d'un demi-pouce plus haut vers le platinode qu'au zincode. Cette expérience fut répétée après avoir répandu dans l'eau du côté zincode un peu d'alumine fraîchement précipitée; une partie de cette substance finement divisée passa évidemment avec l'eau transportée au platinode.

En saturant l'eau d'acide borique, on augmenta un peu son pouvoir conducteur, et pourtant il ne se dégagea pas encore de gaz en quantité notable, quoique dans 40 minutes la différence de niveau entre les deux compartiments fût des $\frac{3}{16}$ d'un pouce. Lorsque le vase fut chargé d'un mélange de 8 parties d'eau pour une d'acide sulfurique, on n'observa pas de changement de niveau.

Nous avons vu cependant qu'avec les solutions salines, malgré leur bon pouvoir conducteur, cette transmission de liquide du zincode au platine se fait d'une manière plus prononcée qu'avec l'eau pure, et les diverses espèces de sels semblent favoriser cette action à des degrés différents.

Pour déterminer si durant la transmission quelque partie du sel se séparait de l'eau qui le tient en dissolution, je pris la pesanteur spécifique des deux solutions avant et après l'expérience,

et je trouvai des différences si légères qu'elles ne pouvaient évidemment pas provenir de cette cause. Ce transport si considérable de matière, qui a toujours lieu dans la même direction, ne paraît pas être lié avec l'effet électrolytique défini du courant qui le produit; c'est ce que les expériences qui suivent montrent d'une manière frappante. Quelle que puisse en être la cause immédiate, ce phénomène paraît être *analogue* au transport de la matière conductrice qui a lieu du zincode au platinode, pendant la décharge de la pile dans l'air; phénomène dont je me suis déjà occupé [1], et dans lequel j'ai remarqué que le platine du zincode était transporté et déposé sur le charbon de platinode. Je suis aussi disposé à penser que ce phénomène est tout à fait distinct de celui que Dutrochet a nommé *endosmose* et *exosmose*, qu'on peut expliquer d'une manière satisfaisante par la force d'adhésion des substances hétérogènes, sans avoir recours aux courants électriques.

J'ai déjà démontré que les produits de l'électrolysation ne peuvent pas rester longtemps séparés dans la cellule que j'ai décrite, à cause du mélange des liquides qui s'opère du côté platinode du diaphragme, par l'effet du transport dont je viens de parler Je me suis donc fait construire un appareil qui répond encore plus parfaitement à ce but, et que j'appellerai, pour le distinguer, *vase à double diaphragme*. Il est composé de deux cellules faites avec deux cylindres de verre munis de colliers à leur extrémité inférieure, et ajustés à frottement sur sur les deux bouts d'un large tube de verre courbé en forme d'U, fixé solidement sur un pied de bois. Les extrémités de ce tube courbé se prolongent un peu dans l'intérieur des deux cylindres, et le haut de chaque cylindre est muni d'un tube recourbé pour recueillir les gaz. Le verre de chaque cylindre est aussi percé d'un trou dans sa partie supérieure, pour laisser passer à frottement un gros fil de platine auquel peut se visser

[1] Voyez Archives de l'Electricité, t. I, n° 2, p. 492.

en dedans un électrode de platine ou de quelque autre métal. Le fil de platine de chaque cylindre est recourbé en dehors et se termine par un godet rempli de mercure que l'on peut mettre en communication avec les pôles de la pile. Chaque cellule renferme environ 7 pouces cubes de liquide, et le gros tube recourbé en contient deux pouces cubes. On remplit le tube de liquide, puis on applique et fixe sur chaque bout un morceau de vessie mince, de manière à exclure l'air parfaitement. Les vessies sont retenues solidement à leur place au moyen de rainures circulaires creusées autour des extrémités du tube. Les deux cylindres sont alors mis en place avec précaution, puis remplis d'une quantité convenable des solutions sur lesquelles on veut expérimenter, et après l'opération leur contenu est aisément décanté au moyen d'un petit siphon de verre.

Cet appareil étant ainsi arrangé, on fit passer le courant, qui fut naturellement beaucoup plus retardé que lorsqu'il passait dans le premier appareil, à cause de la distance plus grande des électrodes ; mais il répondait à son but en arrêtant le transport du liquide, même dans le cas des solutions salines, et pourtant il conservait assez de pouvoir conducteur pour servir parfaitement à l'expérience. Cependant les vessies du tube recourbé devinrent en général un peu concaves, ce qui indiquait une pression extérieure, due au transport d'une petite quantité de liquide.

Sixième expérience. Les deux cellules furent chargées chacune de 4 $\frac{1}{2}$ pouces cubes d'une solution saturée de sulfate de soude, et le tube de communication fut aussi rempli de la même solution; au bout de 2 $\frac{1}{4}$ heures l'hydrogène dégagé du platinode s'éleva à 24 pouces cubes, et l'oxigène du zincode à 10 pouces cubes, faisant un total de 34 pouces cubes de gaz mêlés, soit, en négligeant ce qui manque d'oxigène, environ moitié d'un équivalent. Après l'expérience on trouva que les quantités de liquide dans chaque cellule n'avaient éprouvé aucune mo-

dification. La solution au zincode indiqua par la saturation l'existence de 19,2 grains d'acide sulfurique libre, et la solution au platinode 13,5 grains de soude libre, à laquelle il faut ajouter 2 grains de soude dans le tube recourbé, ce qui fait en tout 15,5 grains de soude. Ces nombres sont presque identiques avec les demi-équivalents de l'acide sulfurique et de la soude.

Ces expériences et d'autres semblables ont été fréquemment répétées, et on a obtenu des résultats parfaitement semblables ; mais il est inutile de vous fatiguer de ces détails, car je crois avoir déjà donné assez d'exemples pour prouver que, dans la décomposition électrolytique d'une solution aqueuse d'un sel neutre, un courant qui est capable de séparer chaque équivalent d'oxigène et d'hydrogène d'un mélange d'acide sulfurique et d'eau, sépare aussi chaque équivalent d'oxigène et d'hydrogène de la solution saline, et laisse dégager en même temps un équivalent d'acide et d'alcali aux électrodes respectifs.

Septième expérience. Il me parut maintenant nécessaire de déterminer si, dans l'électrolysation de l'acide sulfurique étendu, il se faisait quelque transport d'acide ; et dans ce but, quand on eut déterminé la pesanteur spécifique du mélange, chaque cellule fut chargée de 5 pouces cubes d'acide, et le tube courbé en fut aussi rempli. Au bout d'une heure d'action, l'oxigène recueilli au zincode s'éleva à 23,6 pouces cubes, et l'hydrogène au platinode à 47,5 pouces cubes, soit 71,1 pouces cubes pour les deux gaz ensemble. La pesanteur spécifique de l'acide avant l'expérience était 1126,6. Après l'expérience, le volume de cet acide, soit au zincode soit au platinode, se trouva le même qu'avant ; mais le liquide du premier avait maintenant pour pes. spéc. 1130,3 et celui du dernier 1120,3. Lors de la répétition de cette expérience, les cellules furent chargées avec 4 pouces cubes d'acide au lieu de 5 : cet acide avait pour pesanteur spécifique 1128,0 ; et quand on eut recueilli la même quantité du mélange gazeux, la pesanteur spécifique de l'acide

au zincode se trouva être de 1141,0 et celle de l'acide au platinode de 1123,0.

Ces expériences nous apprennent que, pendant l'électrolysation d'un équivalent d'eau, une portion de l'acide passe du platinode au zincode ; il est aussi possible qu'une partie de l'eau passe du zincode au platinode ; et d'après l'augmentation de pesanteur spécifique, plus forte dans la petite quantité du mélange que dans la grande, il semblerait que les quantités d'acide transporté étaient presque égales dans les deux expériences.

Mais cette méthode ne m'a pas paru permettre une détermination aussi précise qu'il était désirable ; je m'efforçai donc de trouver exactement la quantité d'acide transporté en pesant les cellules avant et après.

Huitième expérience. Je me servis d'un appareil dans lequel le tube recourbé recouvert de ses deux diaphragmes fut placé au haut des deux cellules, ses deux extrémités plongeant au-dessous de la surface du liquide qu'elles contenaient. La quantité d'eau décomposée fut déterminée au moyen d'un voltaïmètre placé dans le circuit. Les mélanges gazeux s'élevèrent à 18 pouces cubes. Les poids des diverses parties de l'appareil chargées avec de l'acide étendu, avant et après l'expérience, furent les suivants :

	Avant l'expérience.	Après l'expérience.	
Tube de communication	539,2 gr.	537,3 gr.	1,9 de perte
Cellule platinode . . .	2687,8	2685,2	2,6 de perte
Cellule zincode	2631,5	2634,0	2,5 de gain
	5858,5	5856,5	
Perte totale.		2	
	5858,5	5858,5	

Maintenant, si nous multiplions par 4 la quantité de gaz dégagée, le produit sera 72 ou à peu près un équivalent d'eau décomposée. La perte totale, 2 grains multipliés par 4, sera 8

grains, nombre assez rapproché de l'équivalent de l'eau en poids, pour permettre de conclure que la légère différence provient des erreurs d'expérience; et les 2,5 grains, quantité d'acide transportée, multipliés par 4, donnent 10 grains pour la quantité d'acide sulfurique transportée durant l'électrolysation d'un équivalent d'eau.

Cette expérience fut répétée plusieurs fois, et le résultat fut toujours un léger gain en poids dans la cellule zincode, et une perte dans le platinode; mais j'ai trouvé que je ne pouvais pas me fier à cette méthode d'observation pour la détermination exacte des quantités que je voulais obtenir.

Neuvième expérience. J'en revins donc à la cellule à double diaphragme que je chargeai avec de l'acide sulfurique étendu à divers degrés de concentration; et ayant déterminé, avant l'expérience, la quantité de carbonate de soude cristallisé que chaque mélange neutralisait, je mesurai le pouvoir neutralisant de chaque cellule après qu'elle eut été exposée au courant de la pile. L'opération fut prolongée ordinairement jusqu'à ce qu'on eût recueilli 70,8 pouces cubes de mélange gazeux; et pour établir la comparaison, on a ramené par le calcul dans la table suivante les résultats aux équivalents.

Tableau montrant le pouvoir saturant de l'acide sulfurique étendu aux deux électrodes, pour un équivalent d'eau décomposée.

	1 acide 8 eau.	1 acide 16 eau.	1 acide 32 eau.	1 acide 64 eau.	1 acide 128 eau.	1 acide 8 eau.
Platinode	—24	—29	—32	—37	—39	—35
Zincode	+20	+35	+31	+37	+36,5	+36

Maintenant, si nous rejetons les résultats de la première expé-

rience (quoique je n'aie trouvé aucune raison pour cela, si ce n'est qu'ils diffèrent totalement des autres), tout le reste s'accorde très-bien malgré les grandes différences dans les mélanges d'acide et d'eau dont on a fait usage. Le résultat moyen s'accorde aussi très-bien avec la détermination à laquelle nous étions arrivés dans la huitième expérience, savoir le transport de 10 grains d'acide sulfurique du platinode au zincode pour 9 grains d'eau décomposée :

Equivalent de carbonate de soude cristallisé.		Equivalent d'acide sulfurique.		Carbonate de soude.		Acide sulfurique.
144	:	40	=	36	:	10

Je reconnais cependant que les expériences ne sont pas suffisantes pour déterminer si les différences de pouvoir neutralisant sont dûs seulement au transport d'acide du platinode au zincode, ou si elles proviennent en partie de ce transport, et en partie du passage simultané de l'eau du zincode au platinode. Il m'a été jusqu'ici impossible d'instituer une expérience qui pût déterminer ce point, qui est d'un grand intérêt.

Dixième expérience. Désirant maintenant varier les conditions de la dernière expérience, et en même temps déterminer si le même transport d'acide a lieu dans les cellules actives de la pile, là où l'oxigène de l'eau décomposée est pris par le zinc au lieu de se dégager de la surface du platine, je remplaçai dans la cellule zincode la lame de platine par un zinc amalgamé. Son poids avant l'expérience était de 442,5 grains. Chaque cellule était chargée de 1123 grains d'acide étendu, contenant, d'après le calcul de son pouvoir neutralisant, 158,8 grains d'acide anhydre. L'action de la pile fut prolongée jusqu'à ce qu'il y eut 23,5 pouces cubes d'hydrogène au platinode, ce qui indique la décomposition d'un demi-équivalent d'eau. Après l'expérience, l'électrode de zinc pesa 426,5 grains : la perte était donc de 16 grains, soit moitié d'un équivalent de zinc.

La saturation du liquide au zincode indiquait maintenant

145,1 grains d'acide, quantité à laquelle il faut ajouter 20 grains, pour la saturation de l'oxide d'un demi-équivalent de zinc dissous, ce qui fait en tout 165,1 grains d'acide, et montre un excès de 6,5 grains sur la quantité qui se trouvait primitivement dans la cellule.

La saturation de l'acide au platinode indiqua 151,8 grains, soit une perte de 7 grains.

Cette expérience nous amène à conclure qu'il y a environ 13 grains d'acide pour un équivalent d'eau qui sont transportés du platinode au zincode. Mais en tenant compte du nombre, et de l'incertitude des moyens par lesquels les dernières quantités ont été obtenues, on ne doit peut-être les regarder que comme donnant une confirmation générale des résultats obtenus précédemment, c'est-à-dire que le quart d'un équivalent d'acide sulfurique passe du platinode au zincode pour chaque équivalent entier d'un composé qui a été électrolysé par le courant.

Permettez-moi, je vous prie, de rappeler ici à votre mémoire vos propres expériences, dans lesquelles vous avez comparé la quantité d'acide transporté du platinode au zincode, et provenant d'un mélange d'acide sulfurique et d'eau, avec la quantité transportée par le même courant, d'une solution de sulfate de soude : le rapport trouvé fut, dans l'un des cas, comme $\frac{1}{35}$ est à $\frac{1}{10}$, ou comme 0,027 est à 0,100, ce qui est fort peu supérieur à un quart, quoique dans une autre expérience vous ayez obtenu quelque chose de plus.

Onzième expérience. Une question se présente maintenant : Est-ce que l'acide durant son transport, dans le cas du mélange d'eau et d'acide, ou l'acide et l'alcali dans le cas de la solution saline, transmettent quelque portion du courant qui effectue la décomposition simultanée de l'eau dans les deux cas ?

Pour répondre à cette question, l'on combina l'expérience suivante. La cellule double fut chargée d'une solution saturée de sulfate de soude ; puis on mit en communication avec elle

dans le circuit un tube de verre vert, au fond duquel était soudé un fil de platine formant le platinode en contact avec une certaine quantité de chlorure de plomb, tenu en fusion dans le tube au moyen d'une lampe à alcool. Le zincode correspondant était de plombagine. Le fil de platine pesait avant l'expérience 5,44 grains. L'appareil conduisait bien, et le chlore s'échappait en abondance de l'électrode en plombagine. Lorsqu'on eut recueilli 11,7 pouces cubes au platinode de la cellule double, l'expérience fut arrêtée, et on examina les résultats.

On trouva un bouton bien formé adhérent au fil de platine, et tous les deux réunis et bien débarrassés du chlorure adhérent pesaient 27,1 grains, soit pour le plomb seul 21,66, ce qui indiquerait 4 $\frac{1}{2}$ grains de perte, relativement à la quantité qui, si l'on adopte l'équivalent chimique du plomb, aurait dû se trouver pour être en proportion avec le quart d'un équivalent d'eau, ainsi que l'indiquait la quantité d'hydrogène. L'acide sulfurique au zincode montait à 9,63 grains, et la soude au platinode à 7,5 grains, nombre dont le rapport est très-rapproché de celui de 10 à 8, lesquels sont les équivalents exacts. On est donc assuré que le même courant qui est justement suffisant pour réduire un équivalent de chlorure de plomb dans ses *ions*[1] ou éléments équivalents, produit le double phénomène (en apparence du moins) de la décomposition d'un équivalent d'eau dans ses équivalents, et en même temps d'un équivalent de sulfate de soude dans ses principes immédiats.

Sans cette expérience, on aurait pu supposer que dans la deuxième expérience l'acide qui, comme nous le savons, doit avoir passé du platinode au zincode du voltaïmètre, au moment du passage de l'hydrogène et de l'oxigène, portait la force qui a

[1] C'est par cette dénomination de *ion*, que Mr. Daniell désigne, comme Faraday, les éléments d'un corps composé qui, dans la décomposition voltaïque, vont à l'un ou à l'autre pôle.

opéré la décomposition du sulfate de soude dans la cellule expérimentale; mais maintenant nous pouvons être certains que tel n'est pas le cas. La dernière expérience a été répétée et a donné des résultats exactement semblables.

Il devenait ainsi nécessaire de rechercher l'action du courant voltaïque sur les solutions aqueuses des chlorures, vu que la composition simple de cette classe de sels promettait de jeter quelque jour sur la nature de l'électrolysation des composés secondaires.

Douzième expérience. Une plaque d'étain pur pesant 375,8 grains fut placée comme zincode de la cellule double, qui fut chargée partout avec une solution concentrée de chlorure de sodium. Durant le passage du courant, il ne parut pas sur l'électrode d'étain la plus légère particule de gaz, et l'on ne sentit pas se dégager la moindre odeur de chlore. L'expérience fut arrêtée lorsqu'on eut recueilli 24 pouces cubes d'hydrogène au platinode. L'électrode d'étain pesait maintenant 346,1 ; la perte était donc de 29,7 grains, soit presque exactement moitié d'un équivalent, et elle correspondait à la quantité d'hydrogène dégagé. La solution platinode était alcaline, et indiquait 15 grains de soude; et si l'on ajoute à ceux-ci un grain pour quelque parcelle de soude, qui était restée dans le tube de communication dont la solution était devenue alcaline, nous aurons exactement un demi-équivalent de soude.

Treizième expérience. La dernière expérience fut répétée en ajoutant dans le circuit un tube contenant, comme dans l'expérience onzième, du chlorure de plomb fondu. Les résultats en sont insérés dans le tableau suivant, et on a mis en regard les résultats que donneraient les équivalents chimiques exacts :

	Expérience.	1/4 d'équivalent calculé
Hydrogène dégagé	12,6	11,8
Plomb réduit	24,9	26,0
Etain dissous	16,3	14,6

La solution dans la cellule platinode était alcaline, mais on oublia malheureusement de saturer l'alcali pour le doser.

Maintenant la manière toute simple de se rendre compte des résultats de cette expérience, est de supposer que, pour un équivalent de chlorure de plomb électrolysé dans la première cellule, un équivalent de chlorure de sodium a été décomposé dans la seconde cellule; le chlore de ce dernier est absorbé par l'étain du zincode, et le sodium au platinode réagit sur l'eau, et donne naissance au résultat secondaire d'un équivalent d'hydrogène; dans cette hypothèse, le courant doit avoir été transmis par le chlorure de sodium seul, et l'eau n'a point été électrolysée.

Il faut, en discutant les résultats de toutes ces expériences, poser comme principe fondamental, que la force que nous avons mesurée par son action définie en un point quelconque d'un circuit, ne peut pas décomposer plus d'une proportion équivalente dans un autre point du même circuit, et que le courant que nous avons mesuré par son électrolysation du chlorure de plomb, ne peut pas être en même temps suffisant pour électrolyser un équivalent de chlorure de sodium, et un équivalent d'eau entre les mêmes électrodes. La somme des forces qui retiennent ensemble un nombre quelconque de *ions*, dans un électrolyte composé, pourrait d'ailleurs avoir été seulement égale à la force qui retient ensemble les éléments d'un électrolyte simple, électrolysé au même moment dans le circuit.

Mais comment expliquerons-nous d'après ce principe l'électrolysation du sulfate de soude, et les résultats de l'expérience onzième? L'eau paraissait être électrolysée, et en même temps l'acide et l'alcali du sel apparaissaient, à leurs électrodes respectifs, en proportion équivalente avec l'oxigène et l'hydrogène qui se dégageaient également. Nous ne pouvons pas admettre qu'après la décomposition de l'eau il y ait eu aucun excès de force applicable à la décomposition du sel; mais nous de-

vons conclure que le seul électrolyte qui a cédé était le sulfate de soude, dont les *ions*, au lieu d'être l'acide et l'alcali du sel, sont d'une part un *anion* composé d'un équivalent de soufre et de 4 équivalents d'oxigène, et un *cathion* métallique, savoir le sodium ; le premier forme à l'anode par une action secondaire l'acide sulfurique avec un excès d'un équivalent d'oxigène; puis le dernier forme au cathode la soude, par l'action secondaire du sodium sur l'eau et avec le dégagement d'un équivalent d'hydrogène.

Ces considérations électro-chimiques sont naturellement applicables à plusieurs autres combinaisons salines, comme je le montrerai plus loin ; et dans les expériences dont j'ai déjà donné les détails, elles conduisent à conclure, qu'en considérant les sels ci-après comme électrolytes, il faut faire le changement suivant dans les formules chimiques :

	Formule chimique.	Formule electrolytique.
Sulfate de soude	(S + 3O) + (Na + O)	(S + 4O) + Na
Sulfate de potasse	(S + 3O) + (P + O)	(S + 4O) + P
Nitrate de potasse	(N + 5O) + (P + O)	(N + 6O) + P
Phosphate de soude	(P + 2 ½ O) + (Na + O)	(P + 3 ½ O) + Na

Cette manière de voir m'amène à modifier l'opinion que j'avais eue jusqu'ici sur la décomposition du sulfate de cuivre dans la pile à force constante, et sur l'électrolysation des sels, dont le principe constituant métallique est incapable seul d'effectuer la décomposition de l'eau aux températures ordinaires. J'ai toujours attribué l'apparition du cuivre au platinode, à l'action secondaire de l'hydrogène dégagé en ce point ; mais les considérations que je viens de vous soumettre m'obligent à la regarder comme le résultat primaire de l'action électrolytique, la formule électrolytique du sulfate de cuivre n'étant pas (S + 3O) + (Cu + 4O) mais (S + 4 O) + Cu. Les expériences suivantes ont été entreprises dans le but d'éclaircir encore mieux ce point.

Quatorzième expérience. La cellule à double diaphragme fut chargée au platinode avec une solution saturée de sulfate de cuivre ; le tube de communication et la cellule zincode furent, l'un et l'autre, chargés avec de l'acide sulfurique étendu, et l'on plaça dans le circuit un voltaïmètre. L'opération fut arrêtée lorsqu'on eut recueilli 35 pouces cubes de mélange gazeux. Le cuivre précipité sur le platinode pesait 15,5 grains, et la solution dans la cellule platinode, laquelle était acide, indiquait par neutralisation avec le carbonate de soude 18,8 grains d'acide sulfurique libre. Les résultats se rapprochent beaucoup des proportions équivalentes exactes, comme le montrent les tables suivantes :

	Expérience.	a c
Oxigène et hydrogène	35 pouces cubes.	35,4
Cuivre précipité	15,5	16
Acide sulfurique	18,8	20

Quinzième expérience. La dernière expérience a été répétée en remplaçant le zincode de zinc par une lame de platine ; voici les résultats mis en comparaison avec les nombres équivalents exacts :

	Expérience.	Calcul.
Oxigène et hydrogène	35 pouces cubes.	35,4
Cuivre précipité	16,7	16
Zinc dissous	16,4	16
Acide sulfurique dissous	18,8	20

L'apparition de l'acide sulfurique libre au platinode, plutôt qu'au zincode, est très-remarquable. D'après le principe que j'ai posé, on peut envisager les résultats de la manière suivante. Le passage du courant dans la cellule double doit avoir été opéré par l'électrolysation de l'électrolyte composé, sulfate de cuivre (S + 4 O) + C u, et de l'électrolyte simple, eau H + O, placés l'un à la suite de l'autre, et se transmettant mutuelle-

ment la charge électrique à leur surface de contact. Si nous supposons, pour fixer nos idées, que nous envisageons d'abord le sulfate de cuivre, nous voyons que le métal est déposé sur le platinode, et l'*anion* composé (S + 4 O) passe dans l'eau acidulée; mais ne rencontrant aucune substance avec laquelle il puisse se combiner, la décomposition de l'eau commence, l'hydrogène de cette eau se combine avec un équivalent d'oxigène de l'anion composé (S + 4 O) et l'acide sulfurique (S + 3 O) reste; le courant passe outre en même temps avec l'équivalent d'oxigène de l'eau, qui est ou dégagé sur le zincode de platine, ou absorbé par le zinc.

Un autre point très-intéressant à déterminer, était de savoir quels seraient les produits de l'électrolysation des sels d'ammoniaque; je procédai de la manière suivante pour résoudre cette question.

Seizième expérience. La cellule à double diaphragme, munie d'un zincode en étain, fut chargée avec une solution concentrée d'hydrochlorate d'ammoniaque, et un voltaïmètre fut mis dans le circuit. Le gaz dégagé au platinode fut recueilli sur le mercure. L'expérience fut arrêtée lorsqu'on eut recueilli dans le voltaïmètre 35 pouces cubes de mélange gazeux.

Il ne se dégagea pas de gaz au zincode, mais la perte de l'étain fut de 30,4 grains. 23,5 pouces cubes d'hydrogène furent recueillis au platinode; la solution de cette cellule sentait très-fortement l'ammoniaque, et par la neutralisation on trouva qu'elle contenait 8 $\frac{1}{4}$ grains d'alcali volatil libre. Le rapport de ces nombres avec les proportions équivalentes, se voit dans le tableau suivant :

	Expérience.	Calcul.
Gaz mélangés du voltaïmètre	35,0 pouces cubes.	35,4
Hydrogène au platinode	23,5	23,6
Étain	30,4	29,0
Ammoniaque	8,25	8,5

L'hydro-chlorate d'ammoniaque est donc un électrolyte dont l'*anion* simple est le chlore, et le cathion composé, de l'azote avec 4 équivalents d'hydrogène. Son symbole électrolytique serait donc Ch + (N + 4 H) au lieu de (Ch + H) + (N 3 H).

Dix-septième expérience. La cellule double fut alors chargée avec une forte solution de sulfate d'ammoniaque, et l'expérience fut conduite comme la précédente. On recueillit dans le voltaïmètre 35 pouces cubes de gaz mêlés, 11,5 pouces cubes d'oxigène au zincode, et 23,0 pouces cubes d'hydrogène au platinode. La solution zincode était acide, et le platinode montra par la neutralisation 8 grains d'ammoniaque libre.

	Expérience.	Calcul.
Oxigène et hydrogène mêlés	35 pouces cubes.	35,4
Oxigène au zincode	11,5	11,66
Hydrogène au platinode	23,0	23,32
Ammoniaque	8,0	8,5
Acide sulfurique		20,0

Pour expliquer ces résultats, nous devons considérer que le sulfate d'ammoniaque n'est pas, sous le point de vue chimique, un simple composé d'acide sulfurique et d'ammoniaque, mais qu'un équivalent d'eau est nécessaire pour son existence. Sa formule est (S + 3 O) + (N + 3 H) + (H + O), et par l'électrolysation il est décomposé en un équivalent de soufre, plus 4 équivalents d'oxigène dégagés au zincode, et 1 équivalent d'azote, plus 4 équivalents d'hydrogène dégagés au platinode. Comme électrolyte sa formule serait (S + 4 O) + (N + 4 H). Le composé *anion* et le composé *cathion* s'accordent parfaitement, quant à leur constitution, avec ceux que nous avons auparavant dégagés de leurs combinaisons avec les substances simples, à leur anode et cathode respectif.

Il est impossible, ce me semble, de ne pas être frappé de la

coïncidence singulière et inattendue des résultats que je viens de rapporter, avec deux hypothèses célèbres : l'une de Berzélius, relative à la constitution de l'hydro-chlorate d'ammoniaque, et l'autre de Davy, concernant la nature des acides aqueux et leurs composés salins.

Le premier de ces savants a été conduit à supposer, par des analogies qu'il serait tout à fait inutile de rappeler ici, que l'hydro-chlorate d'ammoniaque est un chlorure d'un radical hypothétique, qu'il a nommé *ammonium*, et qui est formé d'un équivalent d'azote avec 4 équivalents d'hydrogène ; il regarde l'oxide de ce radical comme la base des oxysels d'ammoniaque. D'après cette théorie, le sel ammoniac est représenté par la formule $(N + 4H) + Ch$, et le sulfate d'ammoniaque par $(N + 4H + O) + (S + 3O)$. La première de ces formules s'accorde exactement avec la conclusion que nous avons tirée de l'électrolysation du sel ; mais la dernière diffère de la théorie électrolytique, en ce que ce n'est pas un acide combiné avec une base, mais de l'*ammonium* combiné avec un composé *anion* $(S + 4O)$ qu'elle représente.

L'hypothèse de Davy était que les sels des oxacides pourraient bien avoir une constitution analogue à celle des composés binaires de chlore et métaux, et que les acides aqueux pourraient être regardés comme hydracides. Ainsi l'acide hydro-chlorique est un composé du radical simple, le chlore, avec l'hydrogène, ou $Ch + H$, et l'acide sulfurique hydraté serait un composé d'un radical composé et d'hydrogène ou $(S + 4O) + H$.

Si l'on fait agir l'acide hydro-chlorique sur de la soude, il se forme de l'eau et du chlorure de sodium ou $Ch + Na$. Si l'on fait agir de même l'acide sulfurique hydraté sur la soude, il se forme aussi de l'eau et une combinaison binaire de radical composé et de sodium ou $(S + 4O) + Na$.

La théorie qu'il proposait était qu'un radical (qui pouvait

être ou simple ou composé), comme le chlore ou le cyanogène, ou (S + 4 O), forme un acide avec l'hydrogène, et un sel avec le sodium ou un autre métal quelconque. Cette théorie était appuyée sur plusieurs analogies, et elle a certainement l'avantage d'assimiler sous le rapport de la constitution chimique un groupe naturel de corps qui se ressemblent les uns aux autres aussi intimement que les sels, et que les théories précédentes séparaient en deux classes différentes, les oxysels et les sels haloïdes. Le progrès de la chimie organique, et en particulier la doctrine des substitutions, ont augmenté dernièrement la probabilité de cette hypothèse, et les résultats de l'électrolysation que j'ai établis ci-dessus me paraissent en montrer l'évidence. Les seuls phénomènes qui n'y rentrent pas, sont ceux de la décomposition de l'acide sulfurique étendu, car il ne paraît pas exister de raison pour laquelle l'acide hydraté ne serait pas réduit en acide sulfurique plus un équivalent d'oxigène au zincode, et un d'hydrogène au platinode, ou $(S + 4\,O) + H$ au lieu de $(\frac{S + 3\,O}{4} + O) + H$.

Si nous regardons l'eau comme l'électrolyte qui est décomposé dans ce cas, il n'est pas plus facile de comprendre le quart d'équivalent d'acide sulfurique qui accompagne l'oxigène au zincode, et avec lequel est liée la facilité de la transmission. Cependant elle n'en dépend pas en entier; car quoique, comme nous l'avons vu, la quantité d'acide sulfurique qui passe soit la même dans tous les cas, la facilité de l'électrolysation décroît dès que la proportion d'acide dans le mélange est plus faible que un neuvième.

La formation de ces électrolytes secondaires, et des composés anions et cathions, fournira probablement le moyen d'expliquer plusieurs de ces compositions et décompositions chimiques auxquelles la présence de l'eau est nécessaire, telles que celles de l'acide nitrique avec les métaux, et peut-être de

la formation du circuit de Schœnbein ; mais l'examen expérimental des hypothèses et de la question générale doit être remis à une autre époque.

Londres, 14 *mai* 1839.

PS. J'ai reconnu depuis que, dans les solutions aqueuses des alcalis fixes, les oxides cheminent dans une direction contraire à celle de l'acide dans l'acide sulfurique étendu, et s'accumulent au platinode. La quantité transportée est dans tous ces cas inférieure à l'équivalent des gaz dégagés. Je cherche en ce moment à fixer les proportions exactes de ces quantités transportées, et j'espère avoir le plaisir de vous communiquer les résultats de mes expériences.

DE L'ÉLECTRICITÉ DE TENSION QUI EST DÉVELOPPÉE DANS LE CONTACT DES CORPS HÉTÉROGÈNES.

Les deux théories entre lesquelles les savants sont partagés sur l'origine de l'électricité voltaïque, sont encore l'objet de vives controverses. Quand il s'agit de la pile elle-même et des courants hydro-électriques, on ne peut nier la supériorité de la théorie chimique; les travaux récents de Faraday ont d'ailleurs ajouté de puissants arguments en faveur de cette théorie. Mais il faut reconnaître qu'elle n'est plus si facile à défendre, lorsqu'il s'agit de l'électricité de tension, développée dans le contact de deux corps hétérogènes, surtout si les deux corps sont solides. Aussi plusieurs physiciens sont-ils disposés à séparer complétement les deux ordres de faits, qui se manifestent dans le contact des corps, savoir : ceux qui sont relatifs au développement de l'électricité statique, et ceux qui ont pour objet le dégagement de l'électricité dynamique ; ils admettent que les derniers sont dus à une action chimique, mais ils ne se prononcent pas sur la cause des premiers.

Remarquons d'abord qu'il est impossible de mettre sur la même ligne, quant à leur degré d'importance, les deux ordres de faits. Ceux qui sont relatifs au dégagement de l'électricité sous forme de courant, sont bien plus remarquables, soit par leur nombre, soit par leur intensité, que les phénomènes qui sont dus au développement de l'électricité sous forme de tension dans le contact de deux corps solides. Ceux-ci n'auraient probablement pas plus attiré l'attention que les expériences dans lesquelles on dégage une électricité de tension par la pression ou le clivage, s'ils ne s'étaient pas trouvés être les faits fondamentaux sur lesquels Volta s'est appuyé pour construire

et ensuite pour expliquer sa pile. Supposons la pile trouvée et construite, sans qu'on eût passé par la filière de ces premiers phénomènes de contact purement métallique : il est bien peu probable qu'on eût été y chercher l'explication d'un appareil dans lequel la pratique fait bien vite reconnaître le rôle important des liquides.

Quoi qu'il en soit, la question du dégagement de l'électricité de tension dans le contact des corps hétérogènes a occupé et occupe encore un grand nombre de physiciens. Indépendamment de sa liaison avec la théorie de la pile qu'il est impossible de méconnaître complétement, elle touche à un point de vue philosophique de la science, qui est d'un haut intérêt. Il s'agit de savoir si un simple état relatif de deux corps, tel que le contact, peut créer une force, ou s'il ne s'agit pas d'une simple transformation d'une force en une autre, par exemple de la force chimique, du calorique, en électricité. Dans le premier cas, nous sommes conduits à admettre des notions sur la constitution des corps et sur les forces, peu en rapport avec celles que nous déduisons de la considération de phénomènes d'une autre nature. Dans le second cas, nous ne trouvons rien qui soit en opposition avec les idées reçues ; au contraire, le dégagement de l'électricité sous une forme quelconque dans le contact ne devient qu'un exemple de plus de ces transformations de force, dont les sciences physiques nous offrent de si nombreux exemples.

Ces motifs nous ont toujours fait attacher une grande importance à tous les faits qui se rapportent au développement de l'électricité qui a lieu dans le simple contact de deux corps hétérogènes. Aussi nous empressons-nous de faire part à nos lecteurs des travaux les plus récents qui ont été faits sur ce sujet. Ces travaux sont ceux de Mr. Péclet et ceux de Mr. Belli. —Nous reviendrons plus tard sur ceux de Mr. Marianini qui, quoique antérieurs, n'en méritent pas moins notre examen.

Mr. Péclet a traité la question avec beaucoup de détails, il

a étudié les effets du contact, soit quand les deux corps sont l'un et l'autre solides, soit quand l'un est solide et l'autre liquide. Il a reconnu, contrairement à ce que Volta avait admis, que dans le premier cas le développement d'électricité est très-faible et presque nul, que dans le second il est beaucoup plus considérable, ce qui entraîne, quoique l'auteur ne semble pas admettre cette conséquence, une présomption éminemment favorable à la théorie chimique. Il en a conclu que la théorie de la pile, telle que Volta l'avait admise, est inexacte, mais il ne paraît pas en avoir substitué une autre. Nous rapportons textuellement la plus grande partie du Mémoire de Mr. Péclet; les faits n'y sont pas toujours, du moins à notre avis, très-bien interprétés, mais ils nous ont paru être bien observés, et devoir être enregistrés avec soin, comme une base solide sur laquelle on pourra s'appuyer plus tard pour défendre ou attaquer une théorie quelconque.

Les recherches de Mr. Belli sont moins nombreuses et moins importantes; l'auteur, comme on le verra, a eu surtout en vue de chercher à s'affranchir de l'emploi des couches de vernis isolantes, et de les remplacer, dans les condensateurs à plateaux hétérogènes, par une couche d'air très-mince. A-t-il réussi à se mettre par ce moyen à l'abri de toute cause d'erreur? C'est ce que nous examinerons en rendant compte de son travail.

Commençons maintenant par celui de Mr. Péclet.

Recherches de Mr. Péclet *sur le développement de l'électricité statique pendant le contact des corps.*

L'auteur décrit d'abord les condensateurs dont il a fait usage: les uns simples, c'est-à-dire composés seulement de deux disques, les autres multiplicateurs, c'est-à-dire composés de trois

disques superposés. Ces instruments sont formés de plateaux de glace dépolie, usés les uns contre les autres; les feuilles d'or ont été appliquées sans enduit, en humectant légèrement la surface du verre avec l'haleine; on a eu soin que les couches de vernis ne développassent pas d'électricité par la simple pression, et on n'a opéré qu'après s'être assuré qu'il n'y avait aucune erreur à craindre à cet égard. Toutes les précautions ont été prises pour dessécher l'air qui entourait l'électroscope; enfin l'auteur a reconnu que la divergence des feuilles d'or était sensiblement proportionnelle à la charge, à peu près jusqu'à 25°

Laissons maintenant Mr. Péclet exposer lui-même ses expériences.

« Dans toutes mes expériences, dit-il, je n'ai eu pour objet que l'électricité statique développée par le contact: je ne me suis point occupé des courants produits quand le circuit est fermé; je n'ai même point employé le sens des courants pour déterminer le signe de l'électricité développée sur les corps en contact, parce que les courants ne peuvent pas être considérés comme les conséquences nécessaires des phénomènes de tension produits isolément à chaque contact.

« Je dois prévenir que, par le mot de contact, j'entends le fait même, sans aucune supposition sur l'origine de l'électricité développée.

« Voici maintenant les faits que j'ai constatés:

« 1° Lorsqu'on touche le plateau supérieur d'un condensateur simple avec un métal qu'on tient à la main, et le plateau inférieur avec le doigt, après la séparation des plateaux on observe presque toujours une certaine divergence entre les feuilles d'or. Cette divergence est indépendante de la forme, de la masse et de l'étendue du corps; un fragment de zinc d'une grosseur seulement suffisante pour être pris dans les doigts produit le même effet qu'une masse de plusieurs kilogrammes et qu'une feuille de 2 mètres carrés de surface. L'effet produit est

aussi indépendant du nombre des points de contact; on obtient le même effet avec une lame mince qui touche le plateau du condensateur par un point, ou qui est étalée sur sa surface. L'effet produit est encore le même quand le métal reste en contact permanent sur le plateau supérieur sous une pression quelconque, ou qu'on l'en sépare après un frottement de glissement ou de roulement, quelles que soient l'étendue de la surface de contact, la pression et la vitesse. La chaleur ne paraît pas avoir non plus d'influence sensible sur ces phénomènes; car, en touchant le plateau supérieur du condensateur avec des tubes de zinc et de cuivre fermés par un bout, et successivement remplis de glace et d'eau bouillante, on obtient sensiblement les mêmes déviations.

« 2° Lorsqu'on touche le plateau supérieur avec des fils métalliques soudés bout à bout, l'effet produit est le même que si le métal touché était directement en contact avec le plateau. Le charbon bien cuit se comporte comme un métal.

« 3° Lorsqu'on tient avec les doigts, et par l'intermédiaire d'une lame de baudruche, un métal quelconque, l'effet est le même que si le métal était touché directement. Le papier et les cuirs tannés, dans leur état ordinaire, donnent des effets de même signe, mais plus petits; ces effets décroissent à mesure que le nombre des lames augmente, mais suivant une loi beaucoup plus lente. Par exemple, une lame de zinc, tenue à la main, produisait une déviation de 20°; avec une feuille de papier, 18°; avec 20, 15°; avec 40, 12°. Avec un cuir la déviation était de 15°; avec 10, elle était réduite seulement à 8°.

« 4° Lorsqu'on place la baudruche, le papier ou le cuir sur le plateau du condensateur, et qu'on touche la membrane avec une lame d'un seul métal tenue à la main, on n'obtient aucun effet. Si la lame est formée de deux métaux soudés bout à bout ou seulement en contact, l'effet est égal à la différence des effets qu'on obtiendrait en touchant directement le plateau avec chaque métal tenu à la main. Lorsqu'on place une feuille de papier

ou un cuir non mouillés sur le plateau supérieur du condensateur, et qu'on les fait communiquer avec le plateau inférieur par une lame métallique tenue par un manche isolant, on obtient un effet plus petit que quand on touche le plateau avec la lame métallique tenue à la main. L'effet diminue aussi avec l'accroissement d'épaisseur, mais suivant une loi très-lente : avec un cuir de chamois et une lame de zinc, l'effet était 19° ; avec 14, il était réduit à 18° ; avec une bande de $0^{m},27$ de longueur, il était réduit à 14° ; avec une bande de $1^{m},40$, il était réduit à 8°.

« 5° Lorsque des fils métalliques de même diamètre sont réunis bout à bout, et qu'on tient dans les doigts les extrémités voisines des points de contact, en touchant un des plateaux du condensateur par une extrémité quelconque, on obtient le même effet, et la déviation est sensiblement égale à la moyenne des déviations qui seraient produites séparément par chaque métal.

« Lorsqu'on soude des lames métalliques égales autour d'un point, sous un angle très-petit et dans le même plan, de manière à former un faisceau analogue à celui des côtes d'un éventail ouvert, en touchant simultanément plusieurs lames avec les doigts, de manière que les surfaces de contact avec chaque lame diffèrent peu, et le plateau supérieur du condensateur avec la soudure commune, la déviation produite est sensiblement égale à la demi-somme des déviations qui seraient produites séparément par chaque métal. Si l'on soude de la même manière un fil de zinc et plusieurs fils de platine de mêmes dimensions, la déviation produite en touchant avec les doigts le fil de zinc et un ou deux fils de platine est égale à la moitié ou au tiers de celle qu'on obtient en touchant le fil de zinc seul.

« Les résultats que je viens d'énoncer ne se vérifient qu'autant que les lames et les fils métalliques ont les mêmes dimensions. Quand ils ont des dimensions différentes, et que les surfaces de contact avec les doigts diffèrent beaucoup, la déviation qu'on

obtient par un contact simultané se rapproche de celle qui serait produite par le contact de la lame qui a la plus grande section, ou la plus petite longueur, ou qui est touchée par les doigts sur une plus grande étendue.

« La loi des contacts simultanés de plusieurs métaux paraît d'abord singulière, mais il est facile de s'en rendre compte. En effet, supposons que l'on emploie deux métaux qui, en agissant séparément, produiraient les tensions a et b: la charge du plateau ne sera constante que quand l'électricité qui sera fournie par l'un des corps sera égale à celle qui s'écoulera par l'autre. Ainsi, en désignant par x cette tension on aura :

$$a - x = x - b,$$

d'où

$$x = \tfrac{1}{2}(a + b).$$

De même, si l'on avait m métaux produisant séparément les tensions décroissantes

$$a, \ b, \ c, \ d, \ldots, \ p,$$

on aurait

$$a - x = x - b + x - c + \ldots x - p,$$

d'où

$$x = \frac{1}{m}(a + b + c + \ldots p)$$

« Mais cette formule suppose nécessairement que les quantités d'électricité fournies par les différentes lames métalliques sont égales, et qu'elles ont la même conductibilité ; s'il n'en était pas ainsi, il est évident que la tension produite par leur contact simultané devrait se rapprocher de celle qui correspond à la lame qui produit le plus d'électricité, ou qui a la plus grande conductibilité.

« 6° Lorsqu'on emploie une lame d'un seul métal, l'effet qu'on obtient varie avec la nature du liquide dont on a mouillé les

doigts. Le tableau suivant renferme les résultats obtenus au moyen du condensateur ordinaire. Les dissolutions acides renfermaient $\frac{1}{50}$ d'acide concentré, la dissolution de potasse $\frac{1}{20}$ de potasse pure. C'est toujours le plateau supérieur qui a été touché par le métal, et le signe est relatif à l'électricité des feuilles d'or. (*Voyez le tableau à la page suivante.*)

« J'ai cherché à compléter ce tableau pour le platine et l'argent en contact avec l'eau pure, au moyen du condensateur multiplicateur; j'ai trouvé que les effets de ces deux métaux par rapport à l'or étaient sensiblement représentés par 0,6 pour l'argent, et 0,5 pour le platine. En employant de la plombagine, j'ai bien constaté que l'effet produit était négatif avec tous les acides, et positif avec les alcalis; pour les premiers les déviations ont varié de 5° à 9°, et pour les derniers de 2° à 3°. Les fragments d'un même morceau ont toujours donné des effets de même signe, mais non identiques; c'est pourquoi je n'ai pas mis ces résultats dans le tableau précédent.

« Il résulte de ce tableau que la potasse et l'ammoniaque produisent plus d'effet que les dissolutions acides, et que pour l'argent, le platine et l'or, les effets sont de signe contraire. Ces faits ont été vérifiés directement en touchant simultanément les deux plateaux du condensateur par deux lames du même métal, tenues, l'une par les doigts mouillés d'eau acidulée par l'acide sulfurique, l'autre par les doigts mouillés d'ammoniaque, et en mettant le métal mouillé d'acide successivement en contact avec le plateau supérieur et le plateau inférieur.

« Tous ces résultats ont été confirmés par des expériences faites avec le condensateur multiplicateur; pour presque tous les métaux, après dix contacts, les déviations ont toujours dépassé 50°. Dans les expériences faites avec un même métal, on a touché métalliquement tantôt le premier et le deuxième plateau, tantôt le deuxième et le troisième, en mettant en contact successivement avec le même plateau le métal tenu par les

	Eau pure	Acide sulfurique étendu	Acide nitrique étendu	Acide chlorhydrique	Eau régale	Dissolution de potasse	Ammoniaque	Sulfhydrate de potasse	Dissolution de sel marin	Alcool	Huile d'olive	Huile de naphte
Peroxyde de manganèse.	−15	−20	−21	−21	−19	− 7	− 4	+ 5	−15	− 9,15	−10	−11
Charbon.	»	− 3	− 5	− 4	− 4	+ 4	+ 3	+15	− 2	»	»	»
Or.	»	− 4	− 4	− 0,5	− 4	+ 5	+ 4	+17	− 4	»	»	»
Platine.	»	− 6	− 4	− 2	− 4	+ 5	+ 4	+17	»	»	»	»
Argent.	»	»	− 2	− 3	− 2	+ 3,5	+ 3,5	+22,5	+ 2,5	»	»	»
Nickel.	+10	+ 5	+ 0,5	+ 6	+ 4	+10	+ 8	+20	+ 6	+ 5	+ 5	+ 4,5
Cuivre.	+ 7,5	+ 2,5	»	+ 5	+ 5	−11,5	+11,5	+22,5	+ 6	+ 5	+ 7,5	+ 5,5
Bismuth.	+ 7,5	+ 4	+ 1	+ 5	+ 5	+17	+10,5	+18	+ 6	+ 4	+ 7,5	+ 9
Antimoine.	+ 8,7	+ 7	+ 1	+ 5	+ 6	+21,5	+16	+20	+ 7	+ 7	+10	+ 7,5
Fer.	+11,5	+15	+ 8	+11	+12	+19,5	+15	+17,5	+13	+ 6,5	+ 9	+10
Étain.	+15	+16	+12	+12	»	+28	+22	+24	+15	+15,5	+ 0	+14,5
Plomb.	+17,5	+14	+13	+15	+15	+24	+22	17,5	+14	+13,5	+20	13,5
Mercure.	26	+27	+21	+20	+16	+28	+26	+35	+22	+22	+12,5	+12,5
Zinc.	+26	+27	+26	26	+27	+30	+38	+30	+25	+26	+35	+24

doigts mouillés d'acide et d'alcali. Le signe de l'électricité qui faisait diverger les lames d'or a toujours été celui qui devait résulter du tableau précédent.

« Dans ces dernières expériences l'effet ne peut pas provenir du contact des métaux, puisque c'est le même métal qui est en contact avec les deux plateaux ; il ne peut résulter que du contact des liquides avec les métaux ou avec le corps qui forme le reste du circuit, ou de ces deux causes réunies.

« 7° Dans toutes les expériences que je viens de décrire, on peut remplacer les mains par un fil d'or soutenu par deux manches isolants ; on place la lame métallique sur le plateau du condensateur; au-dessus une lame de baudruche ou de papier imbibé de la liqueur sur laquelle on veut opérer, et l'on établit, au moyen du fil d'or, la communication entre la lame humide et le plateau inférieur. On peut se servir d'un fil de cuivre ou de tout autre métal terminé par des lames d'or. En tenant le fil avec les mains, l'effet est le même que quand il est soutenu par des manches isolants, parce que, les mains touchant le même métal, tout est symétrique par rapport aux deux plateaux. On obtient aussi le même effet en prenant dans chaque main un fil d'or avec lequel on touche la lame humide et le plateau inférieur. On peut aussi employer des creusets remplis de différents liquides, qu'on place sur le plateau supérieur du condensateur, et l'on fait communiquer le liquide avec le plateau inférieur au moyen d'un fil d'or ou de platine. On peut enfin fixer deux lames ou deux fils métalliques à un morceau de peau mouillée de différents liquides, et avec des manches isolants on met les extrémités libres des fils ou des lames en contact avec les plateaux. Par tous ces différents modes d'expérience on obtient les mêmes résultats que par l'intermédiaire des doigts. Ainsi, pour charger le condensateur, il faut établir une communication entre les deux plateaux par un arc métallique interrompu par un corps liquide ou une substance humide placée entre deux métaux de nature différente.

« 8° En employant un quelconque de ces différents modes d'expérience, un même métal et une même dissolution acide, alcaline ou saline, l'effet produit est sensiblement indépendant du degré de concentration de la liqueur, ainsi que de l'énergie de l'action chimique, quand cette action existe.

« En introduisant, dans une capsule de zinc placée sur le plateau du condensateur, successivement de l'eau de Seine, de l'eau faiblement acidulée, assez fortement pour produire une action chimique très-puissante, et enfin de l'acide sulfurique concentré, et établissant la communication au moyen d'une mèche d'amiante mouillée d'acide étendu, les moyennes de vingt-quatre expériences successives n'ont pas différé de 1 degré sur 31 ; en faisant chauffer l'acide de manière à produire une action extrêmement vive, la déviation a encore été sensiblement la même ; une capsule de fer a donné les mêmes résultats.

« 9° Tous ces phénomènes peuvent provenir ou du contact des métaux entre eux, ou du contact des métaux et des liquides, ou du contact des liquides entre eux, ou à la fois de ces trois causes. Par le mot contact j'entends, comme je l'ai déjà dit, le fait même, sans préjuger le rôle que peut jouer l'action chimique qui l'accompagne dans un grand nombre de cas. Pour étudier séparément l'influence de ces différentes circonstances, j'ai employé des disques métalliques, garnis de manches isolants au moyen desquels on pouvait mettre les disques en contact, les séparer et toucher avec eux les deux plateaux du condensateur. En réitérant les contacts on accumulait l'électricité qui s'était développée sur les disques; il n'y avait point d'effet résultant de leur contact avec les plateaux du condensateur, parce que des masses isolées ne chargent pas cet instrument.

« J'ai d'abord employé deux disques de cuivre et de zinc de 8 centimètres de diamètre, dont les surfaces n'étaient ni bien planes, ni parfaitement polies. Dans une série d'expériences,

après 5 contacts, la déviation était toujours de 15°, que l'arc fût en platine, en cuivre, en zinc, en plomb, ou formé d'un assemblage de fils métalliques quelconques. Ainsi, l'on doit admettre que, quand plusieurs métaux sont en contact, les métaux extrêmes prennent des tensions électriques de signes contraires entièrement indépendantes des métaux intermédiaires. Cette loi est due à Volta, mais il l'avait déduite d'expériences qu'il avait mal interprétées.

« Lorsque l'arc métallique renferme un liquide communiquant à deux lames métalliques de même nature, l'effet produit est encore le même que si l'arc était tout métallique.

« Ce dernier fait explique, d'une manière très-simple, les expériences faites par Mr. Peltier, d'où il avait conclu que *les métaux coercent inégalement les deux électricités*. Si l'on forme un condensateur avec deux plateaux, l'un en zinc, l'autre en cuivre, chacun d'eux garni d'un fil de platine; en faisant communiquer ces fils avec les deux branches d'un tube de verre ayant la forme d'un siphon renversé dont les branches renferment, l'une une dissolution acide, l'autre une dissolution alcaline, séparées par de l'argile humide, le condensateur se charge plus quand le zinc communique avec la dissolution acide que quand il communique avec la dissolution alcaline; d'où Mr. Peltier avait conclu que le zinc coerce plus l'électricité positive que l'électricité négative. Mais il faut remarquer que, dans cette expérience, il y a d'abord un arc de communication entre les deux métaux, et que par cela seul le zinc se charge d'électricité positive, et, par conséquent, que l'effet total est égal à la somme ou à la différence des effets partiels résultant de la communication des deux plateaux et de l'électricité développée, ou au contact des liquides et des fils de platine ou des liquides entre eux, suivant que ces deux effets seront de même signe ou de signes contraires.

« 11° Pour observer la différence des effets produits lorsque les métaux sont en communication par un arc métallique

humide ou liquide, j'ai employé les disques couverts de vernis. Voici le résultat que j'ai obtenu, avec un plateau de zinc de 16 cent. de diamètre, placé sur le plateau inférieur doré du condensateur : en établissant la communication des deux plateaux avec les mains, la déviation a été + 20°; en établissant la communication avec un arc métallique quelconque, la déviation a toujours été — 3. En prenant deux plateaux de même dimension, l'un en cuivre, l'autre en zinc, vernis et garnis de manches isolants, que l'on mettait d'abord en contact par les surfaces vernies, établissant communication avec les doigts, puis faisant communiquer chacun d'eux après leur séparation avec les plateaux dorés du condensateur; après 3 contacts la déviation a été de + 55°, et elle a été de — 8° quand la communication était établie par un arc métallique. Ainsi il y a changement de signe et accroissement de tension dans l'électricité produite par le plateau de zinc, quand on passe de la communication par un arc métallique à la communication par un arc humide.

« Pour éviter toute objection, il fallait démontrer que les résultats obtenus ne provenaient pas d'une certaine quantité d'électricité retenue sur les surfaces vernies des disques. J'ai d'abord répété l'expérience plusieurs fois, en renouvelant les couches de vernis des plateaux, et en variant le nombre de ces couches dans des limites très-étendues, tantôt en mettant le même nombre sur les deux plateaux, tantôt en mettant des nombres différents sur chacun d'eux, et j'ai toujours obtenu les mêmes résultats. Mais, en étudiant dans la charge du condensateur l'influence de l'électricité retenue à la surface d'un des plateaux, j'ai pu démontrer rigoureusement que la charge négative résultant de la communication métallique des deux plateaux de zinc et de cuivre, ne pouvait pas provenir d'une certaine quantité d'électricité combinée.

« En effet, quand on frotte avec un morceau de drap la surface vernie du plateau supérieur du condensateur doré, la

charge qu'on obtient en établissant la communication avec les doigts est tantôt positive, tantôt négative, suivant que l'épaisseur de la couche de vernis du plateau supérieur est plus grande ou plus petite que celle du plateau inférieur : c'est un fait que j'ai constaté par un grand nombre d'expériences. L'explication en est d'ailleurs bien simple : l'électricité libre agit simultanément pour charger positivement les deux plateaux ; la charge est alors la différence des effets produits sur chacun d'eux, charge qui est positive ou négative, suivant que l'épaisseur de la couche de vernis du plateau supérieur est plus grande ou plus petite que celle du plateau inférieur. Cela posé, en donnant à la couche de vernis du plateau de zinc une grande épaisseur, l'électricité négative qui pourrait s'y trouver tendrait à produire une charge positive dans les feuilles d'or, et par conséquent ne tendrait qu'à diminuer la charge négative observée. J'ai vérifié directement cette conclusion, en frottant le vernis du plateau de zinc avec un morceau de laine, et établissant la communication avec un fil de platine ; la divergence des feuilles d'or a diminué, et a fini par changer de signe. On ne peut pas non plus supposer que l'effet observé provient d'une certaine quantité d'électricité retenue par le vernis du plateau de cuivre, car en posant ce plateau sur le plateau inférieur doré du condensateur ordinaire, la séparation, après la communication par un fil de platine, ne produit point d'effet sensible.

« On pourrait supposer que les effets observés proviennent d'une certaine quantité d'électricité combinée avec la surface de vernis en contact avec le métal ; mais il faudrait que cette quantité dépendît de la nature du métal, qu'elle fût plus grande pour le zinc que pour le cuivre et l'or, et il serait difficile d'en comprendre l'origine : on ne pourrait pas admettre qu'elle provient du contact du vernis à l'état liquide avec le métal, car elle serait positive. D'ailleurs le fait bien constaté de la production de l'électricité par le contact des disques non vernis, ne permet pas d'adopter cette supposition.

« En opérant avec des disques d'étain, de plomb, de fer, de bismuth et de cuivre, j'ai toujours obtenu des résultats de même nature : toujours accroissement de tension et changement de signe, quand on passait de la communication métallique à la communication par un liquide ; et tous ces métaux étaient négatifs par rapport à l'or avec un liquide, et positifs par un arc métallique. La plupart de ces dernières expériences ont été faites avec des disques ayant seulement 8 centimètres de diamètre, et j'ai employé deux modes différents d'opération : 1° je prenais deux disques par leurs manches isolants, je les appliquais l'un contre l'autre, et, après les avoir mis en communication par un arc métallique ou par les doigts, je les séparais, et chacun d'eux était mis en contact avec un des deux plateaux du condensateur ordinaire ; 2° je plaçais un seul disque sur le second plateau du condensateur multiplicateur, j'établissais la communication du disque et du second plateau par un arc métallique ou avec les doigts, je soulevais le disque en touchant le plateau inférieur, et je répétais un certain nombre de fois ce système d'opération.

« Quand les couches de vernis n'étaient pas anciennes, ces dernières expériences ont souvent présenté des anomalies qui provenaient de l'électricité retenue par le vernis. Les disques de verre sur lesquels j'avais collé des feuilles minces d'étain ou de plomb, sont restés souvent pendant cinq à six jours chargés d'électricité négative : je présume que le verre est pour beaucoup dans cette circonstance. Les disques larges entièrement métalliques, bien plans, ont toujours donné, peu de temps après qu'ils avaient été vernis, des résultats qui n'ont plus varié.

« D'après cela, lorsque deux plaques métalliques sont séparées par un liquide, l'effet observé doit être considéré comme la somme ou la différence des effets produits par le contact de chaque métal et du liquide : la somme si le liquide prend avec

les deux métaux des tensions de signes contraires, la différence quand les tensions sont de même signe.

« Il résulte de là une conséquence importante pour la théorie de la pile. Volta avait admis que l'électricité de la pile provenait uniquement du contact des métaux, et que les liquides ne servaient que de conducteurs; alors l'élément efficace était formé des deux métaux en contact. Mais comme il résulte des expériences que nous venons de rapporter, que la tension de l'électricité développée par le contact des métaux et des liquides est beaucoup plus grande que celle qui résulte du contact des métaux entre eux, l'élément efficace de la pile est formé de deux plaques de métaux différents, séparées par un liquide. Les métaux, par leur contact, ne jouent presque que le rôle de conducteurs, et par conséquent les plaques métalliques extrêmes sont sans influence, comme je m'en suis assuré par de nombreuses expériences; on peut les supprimer, et l'extrémité zinc devient le pôle négatif.

« 12° Lorsque les plaques métalliques sont en communication par un arc formé de différents liquides conducteurs, l'effet ne dépend que des liquides qui touchent les plaques, il est entièrement indépendant du nombre et de la nature des liquides intermédiaires. Ainsi, en prenant quatre godets de porcelaine, les deux extrêmes pleins d'eau pure, les deux intermédiaires remplis, l'un d'une dissolution d'acide sulfurique étendu, l'autre d'une dissolution de potasse caustique; en faisant communiquer les liquides des godets intermédiaires par une mèche de coton imbibée d'acide, chacun de ces derniers avec les godets extrêmes par des mèches de coton trempées dans l'eau, le plateau inférieur doré du condensateur et le plateau supérieur en zinc avec les godets pleins d'eau par les doigts, ou des mèches de coton mouillées, on obtient le même effet que quand on fait communiquer directement les deux plateaux avec les doigts, quels que soient la nature et le degré de concentration des liquides renfermés dans les deux godets intermédiaires; l'effet

n'est pas changé non plus en mettant trois ou quatre godets intermédiaires renfermant différentes dissolutions salines, acides ou alcalines.

« Lorsque les plateaux du condensateur sont tous les deux dorés, et qu'on emploie des fils métalliques de même nature ou des mèches de coton imbibées des mêmes liquides pour établir la communication entre les godets pleins d'eau et les plateaux du condensateur, jamais par leur séparation on n'obtient la moindre trace de déviation entre les feuilles d'or, quels que soient le nombre et la nature des liquides intermédiaires. Il en est de même quand les godets extrêmes renferment un liquide conducteur quelconque, le même pour tous les deux.

« Lorsqu'on mouille les deux pouces, l'un avec une dissolution acide, l'autre avec une dissolution alcaline, qu'on les met en contact et qu'on établit la communication des deux plateaux d'un condensateur bien sensible avec les deux index, on n'obtient jamais aucune déviation. Cette loi est analogue à celle de Volta pour un arc formé de différents métaux (nº 11).

« Il résulte de toutes les expériences qui précèdent, qu'il y a développement d'électricité dans le contact des métaux entre eux et avec les liquides; que, par un contact métallique, tous les métaux sont positifs par rapport à l'or; que, par une communication par un liquide, la tension est beaucoup plus grande et en général de signe contraire. Alors quand on touche le plateau d'un condensateur avec un métal qu'on tient à la main, et l'autre plateau avec le doigt, il y a développement d'électricité au contact des deux métaux et au contact des doigts avec chacun d'eux, et l'effet observé est la somme de ces trois effets partiels. Mais comme les effets produits par le contact des métaux et des liquides sont beaucoup plus grands que ceux qui résultent des métaux entre eux, l'effet produit est presque uniquement le résultat du contact du métal et de l'or avec les doigts.

« 13º Dans tout ce qui précède, le mot contact, si souvent

employé, n'a été pris, comme j'ai eu soin de le dire, que pour désigner le fait. Il s'agit maintenant d'examiner si l'électricité statique développée dans le contact des métaux entre eux et des métaux avec les liquides, résulte du fait même du contact ou d'une action chimique. C'est une question maintenant vivement controversée, et que tout le monde s'accorde à regarder comme très-obscure.

« Occupons-nous d'abord du développement de l'électricité par le contact des métaux entre eux, sans l'intervention de corps liquides.

« 14° Les résultats des expériences de Volta sur l'électricité développée par le contact des disques métalliques isolés ont été expliqués, 1° par le frottement ou la pression inévitable des disques, 2° par l'action chimique du milieu ambiant sur le métal le plus oxidable.

« Les expériences que j'ai rapportées précédemment démontrent que la pression et le frottement sont sans influence ou diminuent l'effet produit quand la séparation est normale, et que lorsque les disques sont séparés en glissant l'un sur l'autre, on n'obtient jamais rien; ainsi cette première explication n'est point admissible : passons à la seconde. En 1829, Mr. Pfaff a publié des expériences qui la réfutent complétement. Mr. Pfaff avait placé sous une cloche, où l'on pouvait faire le vide et qu'on pouvait remplir de différents gaz, un condensateur à feuilles d'or dont les deux plateaux étaient l'un en cuivre et l'autre en zinc; deux boîtes à cuir servaient, l'une à établir un contact métallique entre les plateaux, l'autre à les séparer; en opérant dans l'air atmosphérique, l'oxigène, l'azote, l'acide carbonique, l'hydrogène, l'hydrogène carboné, secs ou humides, les résultats ont toujours été les mêmes.

« Mr. de la Rive a répondu à ces expériences que l'effet observé pouvait provenir de la pression exercée sur la couche mince de vernis des deux plateaux, et qu'il était d'ailleurs impossible d'avoir la certitude qu'il ne restait pas de traces d'hu-

midité dans les gaz desséchés. La première supposition de Mr. de la Rive doit être écartée, car on ne comprend pas d'où viendrait cette électricité, et d'ailleurs l'expérience démontre qu'il ne se produit point d'électricité par la pression de deux plateaux vernis formés d'un même métal. Quant à la seconde, Mr. de la Rive a cru l'appuyer par l'expérience suivante : un condensateur formé d'un plateau de zinc garni d'un fil de platine et verni sur toute l'étendue de sa surface, et d'un plateau de cuivre verni seulement sur la surface libre; en faisant communiquer métalliquement les deux plateaux, il y avait une déviation, mais elle diminuait à mesure qu'on augmentait le nombre des couches de vernis du plateau de zinc. Mr. de la Rive pense que cette diminution d'effet provient de ce que le contact du zinc et de l'air n'est pas intercepté complétement par des couches de vernis, mais d'autant plus qu'elles sont plus nombreuses. Mais la continuité de la surface du vernis quand les couches sont en nombre suffisant, ne permet pas d'admettre la supposition de Mr. de la Rive. D'ailleurs il est bien évident que la force condensante de l'appareil devant diminuer à mesure que le nombre des couches de vernis augmentait, par conséquent les effets produits devaient diminuer et finir par s'éteindre complétement [1].

« Pour éviter toute objection, j'ai fait les expériences d'une manière qui permet d'augmenter presque indéfiniment le nombre des couches de vernis. J'ai pris deux disques, l'un en cuivre, l'autre en zinc, de six pouces de diamètre, parfaitement plans, soutenus par de longs manches de verre et garnis à la circonférence d'un fil de platine. Les deux plateaux ont d'abord été recouverts sur toutes les surfaces métalliques, et sur

[1] Il y a ici erreur, je n'augmentais nullement dans mes expériences l'épaisseur de la couche de vernis sur la surface inférieure du plateau de zinc, mais seulement sur la surface supérieure, soit celle qui était en contact avec l'air. Je ne diminuais donc nullement ainsi la force condensante de l'appareil. (A. DE LA R.)

plusieurs centimètres des manches isolants, de cinq à six couches de vernis ; alors les disques ont été mis en contact, on a fait toucher les fils de platine, on a séparé normalement les disques, et les fils de platine de chacun d'eux ont été mis en contact avec les plateaux dorés d'un condensateur ordinaire. Après un certain nombre de contacts, j'ai obtenu une grande divergence ; en portant jusqu'à 36 le nombre des couches de vernis pour 10, 15, 20 et 25 contacts, les déviations ont été de 25°, 34°, 42° et 52° ; après 50 couches de vernis, la déviation pour 10 contacts a encore été de 12°. Je ne doute point que je n'aie pu augmenter presque indéfiniment le nombre des couches de vernis, et qu'en augmentant le nombre des contacts pour compenser la perte de faculté condensante résultant de l'accroissement d'épaisseur du vernis, je n'eusse toujours obtenu le même résultat. Je m'étais assuré que le plateau de cuivre ne renfermait pas d'électricité combinée, en le plaçant sur le plateau inférieur d'un condensateur doré et établissant un contact métallique ; je n'ai jamais observé de trace de tension dans les feuilles d'or. Quant au plateau de zinc, il avait été recouvert d'un plus grand nombre de couches de vernis que le cuivre, et je m'étais assuré, en le frottant avec du drap, que l'électricité négative, dont il se charge alors, tendait à produire un effet de signe contraire à celui qui était observé.

« Tous ces faits ne doivent laisser aucun doute sur l'origine de l'électricité produite par le contact des métaux ; mais il est un fait auquel il me paraît impossible de rien objecter : quand le zinc est touché par un métal, il perd l'électricité positive, et c'est l'électricité négative qu'il perd quand il l'est par un liquide ou un corps humide ; par conséquent on ne peut pas supposer que l'électricité qu'il prend par le contact du cuivre provient de l'humidité de l'air, puisque l'effet serait de signe contraire[1].

[1] Il nous semble qu'il y a ici une erreur d'impression dans le Mémoire

« Examinons maintenant le contact des métaux et des liquides. Quand on touche un des plateaux du condensateur avec une lame métallique qu'on tient à la main, les doigts ayant été préalablement lavés avec de l'eau distillée, l'effet produit ne peut venir, comme nous l'avons déjà dit, que du contact de l'or et du métal, et du contact des doigts avec les métaux. Or, comme il résulte des expériences faites sur le contact des métaux, que les effets produits sont beaucoup plus petits que ceux qui résultent du contact des métaux avec les liquides, on doit regarder l'effet observé comme étant la différence des effets produits par le contact des métaux avec les doigts. Or, comme on obtient des effets très-appréciables avec le platine, et que plusieurs physiciens ont déjà constaté qu'on obtenait aussi de l'électricité avec la plombagine, l'anthracite, le peroxide de manganèse, substances sur lesquelles l'eau est sans action, on ne peut pas se refuser à admettre que pour ces substances le développement de l'électricité n'est point accompagné d'une action chimique[1].

« Lorsque l'on touche un des plateaux du condensateur avec un métal tenu dans les doigts mouillés avec un liquide quelconque, l'autre plateau étant touché par les doigts dans l'état ordinaire, ou quand on fait communiquer les deux plateaux

de Mr. Péclet que nous rapportons textuellement. Quand le zinc est touché par un métal, il nous semble qu'il *prend* et non pas qu'il *perd* l'électricité positive; de même il *prend* la négative quand il est touché par un liquide ou un corps humide. — La réflexion par laquelle l'auteur termine ce paragraphe, ne nous paraît pas juste; dans la théorie chimique l'oxidation opérée par l'air humide sur la surface du zinc le rend négatif, il est vrai, mais cette électricité négative s'échappe par le cuivre qui est en contact avec le zinc, et celui-ci garde la positive qu'a prise la couche d'air immédiatement en contact avec la surface oxidée. (A. DE LA R.)

[1] Il n'est pas le moins du monde admis par les chimistes que l'eau soit sans action sur les différentes substances énumérées par l'auteur, et il suffit qu'il y ait une action très-légère pour qu'il y ait développement sensible d'électricité. (A. DE LA R.)

par un arc formé d'un fil d'or et d'une lame métallique séparés par deux liquides communiquant entre eux par une mèche d'amiante imbibée de l'un des liquides, l'effet observé doit provenir du contact du métal avec l'or, du contact des deux métaux avec les deux liquides, et enfin du contact des deux liquides entre eux. J'ai fait beaucoup d'essais pour combiner les expériences de manière à séparer les effets résultant de l'action des liquides les uns sur les autres, mais je n'ai rien obtenu de satisfaisant, et je doute qu'avec les appareils employés jusqu'ici on puisse y parvenir.

« J'avais d'abord été induit en erreur sur le développement de l'électricité par le contact de deux liquides, par une expérience déjà citée. Lorsque l'arc de communication des deux plateaux est formé de deux métaux séparés par deux liquides, en interposant entre les deux liquides un troisième liquide, l'effet reste le même. J'avais pensé d'abord que cette expérience conduisait nécessairement à admettre qu'il n'y avait pas d'électricité développée par le contact des liquides entre eux, car il paraissait impossible d'admettre que l'effet résultant du contact des trois liquides fût toujours égal à celui qui résulte des deux liquides extrêmes. Mais comme l'énoncé de ce fait est exactement celui de la loi que Volta a reconnue par un arc formé de différents métaux, et qu'il est bien démontré qu'il y a dégagement de l'électricité au contact des métaux, il est évident que l'effet observé peut se concilier avec un développement d'électricité au contact des liquides [1].

« Dans l'hypothèse de la préexistence d'une action chimique au développement de l'électricité, on considère les effets de tension qui se produisent dans le cas que nous considérons, quand le métal n'est pas attaqué par la dissolution avec la-

[1] Cette conséquence est une des plus fortes objections qu'on puisse faire contre la théorie de Volta; il est impossible, en effet, d'assimiler les deux cas dans cette théorie. Dans la théorie chimique, au contraire, ils sont très-faciles à expliquer l'un et l'autre. (A. DE LA R.)

quelle il est en contact, comme résultant de l'action des deux liquides. Ainsi, quand on tient l'or ou le platine dans les doigts mouillés d'acide ou d'alcali, on considère l'effet produit comme provenant du contact de la dissolution avec les doigts. Mais si les choses se passent réellement ainsi, en opérant avec la même dissolution dans les mêmes circonstances, l'or et le platine devraient toujours produire la même déviation, et c'est ce qui n'est pas; je l'ai reconnu par des expériences répétées un grand nombre de fois. Cette différence résulte d'ailleurs, avec la dernière évidence, d'une expérience faite par Mr. Becquerel, quoique ce physicien l'ait interprétée d'une manière différente, mais à mon avis inadmissible.

« Si l'on place sur le plateau supérieur d'un condensateur un creuset de platine renfermant de l'acide sulfurique étendu, en plongeant dans l'acide une lame d'or pur tenue dans les doigts lavés avec de l'eau distillée, on observe une déviation négative dans les feuilles d'or. J'ai répété cette expérience un grand nombre de fois, et j'ai toujours observé l'effet indiqué. Mr. Becquerel a expliqué ce résultat par l'action chimique de l'eau qui était restée sur le fil d'or après le lavage, sur l'acide sulfurique étendu d'eau; mais, pour que cette explication fût exacte, il aurait fallu démontrer d'abord qu'il se dégage de l'électricité par le contact de l'eau et de l'acide, et je ne connais aucune expérience qui établisse ce fait, à moins qu'on ne suppose qu'il n'y a pas d'électricité développée par le contact des acides et de l'eau avec l'or et le platine, ce qui est en question. En outre, l'explication ne pourrait être admise que pour l'électricité qui se produit à la première immersion : l'effet aurait dû diminuer à mesure que le nombre des immersions aurait augmenté, et aucun signe d'électricité n'aurait dû se manifester sur le fil d'or desséché. Mais l'effet est le même quand le fil d'or a été chauffé ou rougi dans la flamme de l'alcool. Ainsi l'effet produit ne peut être attribué qu'à la différence des actions des doigts et de l'eau acidulée sur l'or et le platine.

« Il y a encore un grand nombre de faits analogues. On ne connaît pas d'action chimique de l'alcool anhydre sur les métaux ; la plupart se conservent dans ce liquide sans altération, et cependant plusieurs produisent de l'électricité par leur contact avec ce liquide. Si l'on prend un tube de verre recourbé en U, rempli d'alcool à 45°, en plongeant une tige métallique dans une des branches, tenant l'autre fermée avec le doigt, et touchant un des plateaux du condensateur ordinaire avec l'extrémité de la tige métallique, on n'obtient rien avec l'argent, l'or et le platine, mais on obtient 3° avec le fer, 12° avec le zinc, 10° avec l'étain. Les effets produits ne peuvent pas résulter de l'action de l'alcool sur les doigts, car ils devraient être les mêmes pour tous les métaux, ce qui n'est pas ; ils ne peuvent pas non plus résulter de l'influence de l'humidité de l'air sur la partie de la tige métallique qui est hors du liquide, car si l'on immerge complétement la lame de zinc dans l'alcool, et si on la touche par un fil d'or, d'argent ou de platine communiquant avec un des plateaux du condensateur, on obtient le même effet[1].

« En 1832, Mr. Payen a constaté, par de nombreuses expériences, qu'une dissolution de soude ou de potasse caustique, qui renferme au moins $\frac{1}{500}$ d'alcali, préserve complétement le fer de l'oxidation ; des objets en fer et en acier poli, après un séjour de trois mois dans une dissolution de potasse, avaient conservé leur brillant primitif : Mr. Payen m'a assuré que les mêmes objets, depuis huit ans, n'avaient pas éprouvé la moindre altération. Les alcalis sont aussi sans action sur l'or et l'argent. Or, en opérant avec une dissolution de potasse comme avec l'alcool, j'ai obtenu avec le fer une déviation de 9°, avec

[1] Il n'est point prouvé qu'il n'y ait pas une action chimique de la part de l'alcool sur le fer, le zinc et l'étain, en particulier sur la légère couche d'oxide dont la surface de ces métaux est toujours recouverte. (A. DE LA R.)

l'or et le platine 4° et 5°, avec l'argent 1°,5, avec le charbon 2°,5. Les effets obtenus ne peuvent pas résulter de l'humidité de l'air sur la partie libre des lames métalliques ; car, en immergeant complétement le fer dans la potasse, et établissant la communication du plateau du condensateur avec le métal par un fil de platine, j'ai encore obtenu la même déviation. L'action de l'air est d'ailleurs nulle sur l'or, l'argent et le charbon. Ces effets ne peuvent pas provenir uniquement de l'action de la dissolution sur les doigts, car les effets seraient les mêmes pour tous les métaux, ce qui n'est pas. Ainsi, il y a une influence alcaline au moins sur trois de ces substances, sinon sur toutes [1].

« Il me paraît impossible, d'après toutes ces expériences, de se refuser à admettre qu'il y a production d'électricité statique, par le contact de certaines substances avec des liquides, sans qu'il y ait une action chimique connue, et l'on ne peut alors attribuer l'effet observé qu'à l'influence du contact.

« Dans tout ce qui précède il n'a été question que d'électricité statique, et je n'ai jamais employé de galvanomètres pour déterminer le signe de l'électricité développée, parce que les courants exigent des sources permanentes, et qu'il est maintenant bien reconnu que les courants ne se produisent que par le mouvement, la chaleur, ou des actions chimiques ; c'est d'ailleurs ce qui résulte du seul fait que les courants ont une puissance dynamique qui peut produire un mouvement continu, et que cette propriété ne peut pas résider dans un circuit en repos dont les parties ne changent ni de forme ni de nature, ni de température.

« Il résulte des faits consignés dans ce Mémoire :

[1] L'action chimique d'une dissolution de soude ou de potasse sur les métaux qui y sont plongés est loin d'être nulle, malgré l'expérience de Mr. Payen, qui prouve seulement que le fer ne s'y oxide pas. Bien des faits le prouveraient au besoin. (A. DE LA R.)

« 1° Que les métaux, dans leur contatct, produisent de l'électricité, comme Volta l'avait annoncé, et sans qu'il soit possible d'attribuer cet effet au frottement ou à une action chimique du milieu environnant;

« 2° Que dans une chaîne formée de plusieurs métaux, les effets produits sont les mêmes que si les métaux extrêmes étaient immédiatement en contact, comme Volta l'avait annoncé, mais en déduisant ce fait d'expériences mal interprétées;

« 3° Que la théorie de la tension de la pile de Volta, telle que ce physicien l'avait donnée, est inexacte, attendu que les principaux effets proviennent de l'action des métaux sur les liquides, et que celle des métaux les uns sur les autres ne tend qu'à diminuer l'effet produit;

« 4° Que quand deux métaux sont séparés par une chaîne formée de plusieurs liquides communiquant entre eux, l'effet produit est le même que si les liquides qui touchent les métaux étaient immédiatement en contact: c'est pour les liquides une loi analogue à celle que Volta avait trouvée pour les métaux;

« 5° Que dans le contact de certains métaux et de certains liquides il y a développement d'électricité, sans qu'il soit possible d'admettre une action chimique entre les deux corps.

« En résumant les différents Mémoires que j'ai publiés sur l'électricité, je pense qu'il est complétement démontré que l'électricité développée par la pression et le frottement des corps solides, dont un est mauvais conducteur, ne provient ni de l'ébranlement moléculaire, ni de l'action chimique du milieu ambiant; qu'il en est de même de l'électricité produite par le contact des métaux entre eux, et de certains métaux avec certains liquides, et que, dans tous ces cas, l'électricité résulte uniquement du fait même du contact. D'après cela, je regarde comme très-probable qu'il y a dégagement d'électricité dans le contact et la séparation des molécules de natures différentes,

que, dans le premier cas, il y ait ou non action chimique, et, dans le second, que les molécules aient été seulement mises en contact, ou qu'elles aient été réunies par une véritable action chimique : du moins cette hypothèse satisfait à tous les faits observés.

Observations sur le travail de Mr. Péclet.

Avant de passer à l'analyse des recherches de Mr. Belli, nous présenterons quelques observations sur celles de Mr. Péclet, que nous venons de rapporter presque textuellement. Elles forment, comme nous l'avons dit en commençant, un document d'une grande importance pour la solution de la question du contact. Ouvrage d'un des partisans les plus chauds de la théorie du contact, il conduit cependant à des résultats bien peu conciliables avec cette théorie, et tout au moins en complète opposition avec ceux qu'avaient obtenus jusqu'ici les défenseurs des idées de Volta. Quoique nous nous réservions de discuter plus au long, en publiant nos propres recherches, les expériences et les raisonnements de Mr. Péclet, nous tenons cependant à faire ressortir immédiatement, pour en prendre acte, les conséquences remarquables auxquelles ce physicien est parvenu.

1° Contrairement à ce qui avait été avancé jusqu'ici par tous les voltaïstes, M. Péclet reconnaît, avec les partisans de la théorie chimique, que l'électricité développée par le contact de deux métaux, est excessivement faible, comparativement à celle qui est dégagée dans le contact d'un métal et d'un liquide. — C'est ce qui résulte, et du tableau d'expériences qui est joint au mémoire, et de l'expérience citée au § II, dans la-

quelle, l'auteur, en plaçant un disque de zinc de 16 cent. de diamètre sur le plateau inférieur doré du condensateur, obtenait 20° d'électricité positive à l'électroscope, en touchant avec les mains les deux plateaux, et seulement 3° de négative en faisant communiquer ces plateaux au moyen d'un arc métallique quelconque. Je me bornerai à remarquer que ce résultat prouve combien ce genre d'observations est délicat, puisqu'il a fallu toutes les précautions qu'a prises Mr. Péclet, pour confirmer un principe qui a été si souvent contesté aux électrochimistes, combien donc il est imprudent de se hâter de les regarder comme vaincus, parce qu'un fait souvent mal observé paraît être contraire à leur théorie.

2° Un second fait important, qui résulte du travail de Mr. Péclet, c'est l'influence qu'exerce la nature des liquides sur la nature et l'intensité de l'électricité qui est développée. Il est vrai que ce ne sont pas toujours les liquides qui exercent les actions chimiques les plus vives qui donnent lieu à l'électricité la plus intense, d'où l'auteur semble conclure que ce n'est pas l'action chimique mais le simple contact qui dégage l'électricité. Il tire la même conséquence du fait que les signes électriques ne sont pas toujours de même nature. Mais les physiciens qui attaquent la théorie chimique oublient toujours ce principe important, savoir qu'il ne faut pas confondre l'électricité *perçue* avec l'électricité *produite*. Cette dernière est toujours proportionnelle à la *quantité* d'action chimique, mais la première varie avec diverses circonstances tenant à la conductibilité du liquide, avec celle des produits de l'action chimique, avec la solubilité de ces produits, leur adhérence à la surface attaquée, etc. C'est pourquoi une dissolution de potasse ou d'ammoniaque, l'eau pure même, produira dans bien des cas plus d'effet qu'une solution acide. — Quant aux signes, leur nature doit dépendre du genre d'action. Ainsi le même métal qui, dans une solution acide, prendra l'électricité négative et donnera au liquide la positive, prendra

dans une solution alcaline la positive et donnera au liquide la négative. Cette différence s'explique très-bien si l'on ne perd pas de vue que la plupart des oxides métalliques jouent le rôle d'acides par rapport aux alcalis; or dans le second cas, c'est le corps solide qui est l'acide et le liquide qui est la base, tandis que dans le premier, c'est l'inverse. La différence dans la nature des signes observés est donc tout à fait naturelle, d'autant plus qu'il ne faut pas oublier que les métaux, avant d'être plongés dans le liquide alcalin, ont été recouverts d'une légère couche d'oxide, par le seul fait de leur exposition à l'air, comme j'ai fait voir dernièrement que cela avait lieu même pour l'or et le platine.

3° Mr. Péclet cite plusieurs expériences dans lesquelles il trouve des signes électriques quoiqu'il n'y ait pas d'action chimique apparente. Remarquons d'abord que ces signes sont toujours très-faibles, et, d'ailleurs, si les surfaces métalliques sont exposées à l'action de l'air, on ne peut nier qu'elles doivent légèrement s'oxider. Dans le cas où elles sont recouvertes de vernis je ne puis m'empêcher de croire, contrairement à ce que dit Mr. Péclet, que la pression excercée par deux disques métalliques de nature différente, sur la couche de vernis plus ou moins épaisse qui les sépare, ne développe sur chacun d'eux une tension électrique différente, ce qui doit les constituer dans des états électriques opposés, s'ils forment les deux plateaux d'un condensateur. Si les disques sont homogènes, la tension électrique qui doit résulter de leur pression contre le vernis, étant la même, il ne doit pas alors y avoir de signes électriques.

Il y aurait bien d'autres remarques encore à faire. Ainsi le fait que, lorsque les deux disques isolés ont été mis en contact sans couche de vernis interposée, il n'y a pas de signes électriques ou que ces signes sont infiniment faibles, si les deux surfaces sont bien aplanies ou s'il y a eu frottement quand on les a séparées, ce fait est très-peu favorable à la théorie du contact. En

effet, le frottement ne doit pas dégager d'électricité sensible dans ce cas, puisque, les deux surfaces étant métalliques, il y a recomposition immédiate des électricités développées par ce frottement; et quant à l'influence de la couche d'air interposée entre les deux surfaces, elle peut s'expliquer, soit parce qu'elle favorise la condensation, soit peut-être mieux parce qu'elle facilite l'oxidation. Quoi qu'il en soit, le contact est la seule circonstance qui ne change pas, et, par conséquent, si elle était seule cause du développement de l'électricité, ce développement ne devrait pas varier.

En résumé, le travail de Mr. Péclet est tout à fait défavorable à la théorie voltaïque de la pile; il montre combien il y avait d'erreurs accréditées sur le sujet du dégagement de l'électricité dans le contact des corps. Il présente en particulier, dans les phénomènes du dégagement de l'électricité de tension par le contact des liquides et des métaux, un rapport tout à fait remarquable avec les phénomènes du développement de l'électricité dynamique que Mr. Faraday avait trouvés en analysant les mêmes métaux et les mêmes liquides, et d'où il avait tiré des conclusions si favorables à la théorie chimique.

En un mot, si les recherches de Mr. Péclet ne sont pas de nature à démontrer complétement l'exactitude de la théorie chimique, elles sont tout au moins éminemment propres à prouver l'insuffisance, et je dirais presque, l'inexactitude de la théorie du contact.

Description de quelques expériences faites avec un nouvel appareil sur l'origine de l'électricité voltaïque, par le Prof. J. Belli.

Après avoir rappelé les deux opinions qui partagent les physiciens, sur l'origine de l'électricité voltaïque, l'auteur passe à la description de son appareil.

Cet appareil se compose d'un condensateur dont les deux plateaux sont de métaux différents, séparés, non par une couche de vernis, mais par une couche d'air très-mince. Les deux disques sont, l'un de zinc, l'autre de cuivre; ils ont, l'un et l'autre, leurs surfaces bien unies et brillantes. Ils portent chacun trois appendices; aux appendices du plateau inférieur sont fixées verticalemant trois petites tiges de verre, dont les extrémités supérieures, très-fines, supportent le plateau supérieur en soutenant les trois appendices de ce dernier plateau. Ces tiges de verre sont à vis, de façon qu'on peut, en les tournant avec précaution, rapprocher, autant qu'on veut, les deux disques sans qu'ils se touchent, et de manière qu'il y ait toujours une lame d'air entre eux.

L'auteur préfère les petits supports de verre à des boules de cire, pour séparer les deux plateaux, parce que ces dernières risquent davantage de conserver longtemps un peu d'électricité développée par le frottement. L'électroscope dont il se sert est un électroscope à piles sèches. Voici les trois expériences principales faites par Mr. Belli.

1re *Expérience.*

Les deux disques, l'un de zinc, l'autre de cuivre, sont décapés et polis aussi bien que possible, puis superposés, comme il a été indiqué, de manière à ne laisser entre eux qu'une mince couche d'air. Chaque disque porte un appendice auquel est fixé un petit godet, le tout du même métal que celui du disque. Ces godets sont remplis de mercure, on y plonge les deux extrémités d'un fil de cuivre tenu par un manche isolant; puis, après avoir enlevé le fil de communication et séparé les disques, on trouve de l'électricité positive sur le disque de zinc, et de la négative sur celui de cuivre. Cette expérience, dont le résultat n'est pas nouveau, a, suivant l'auteur, l'avantage de montrer que le fait observé est tout à fait indépendant du frottement ou de la pression, soit des deux disques entre eux, soit

de chacun d'eux sur la couche de vernis qui les sépare dans l'ancien mode d'opérer.

Mais, ajoute Mr. Belli, plusieurs physiciens, reconnaissant la réalité du fait, l'attribueront à un effet chimique et précisément à une oxidation lente des métaux par l'action de l'air, spécialement s'il est humide. C'est, en particulier, l'explication qu'en donne Mr. De la Rive, qui admet que lorsque le zinc ou quelque autre métal exposé à l'air s'oxide, l'oxigène se combine au métal en lui donnant l'électricité négative, et laisse en arrière un peu d'électricité positive qui reste dans une lame mince d'air contiguë, où, par sa présence, elle dissimule aux corps environnants l'électricité négative du zinc oxidé; cas tout à fait semblable à celui des deux armures d'une bouteille de Leyde chargées d'électricité opposée. Cependant, quoique l'oxidation continue et parvienne à séparer en très-peu de temps, une quantité immense d'électricité, la rupture de l'équilibre électrique ne peut s'accroître au delà d'une certaine limite, vu que les deux électricités se neutralisent à travers la surface métallique malgré la résistance que celle-ci oppose à un tel passage, et qu'il en résulte une différence de tension électrique continue, uniforme et proportionnelle à la résistance que le zinc oppose à ce passage. — Cet effet ayant lieu avec une intensité moindre sur le disque de cuivre que sur le disque de zinc, il doit en résulter, dès qu'on met les deux disques en communication, un état négatif pour le cuivre, et un état positif pour le zinc, conformément à l'expérience.

Après avoir développé avec bien plus de détails que je ne puis en rapporter ici, la théorie chimique telle que je l'ai conçue, Mr. Belli ajoute qu'il n'oserait s'opposer complétement à cette explication des phénomènes observés par Volta. Il reconnaît que Volta lui-même et Marianini ont laissé indécise la cause de l'électricité de contact, et que ce dernier physicien déclare, dans l'un de ses derniers mémoires, qu'il ignore si elle est produite par une cause chimique, mécanique ou quelque autre.

2me *Expérience*.

L'auteur, après avoir bien poli les deux appendices de cuivre et de zinc de chacun des deux disques métalliques, les réunit par un morceau de bois humecté d'alcool rectifié et tenu par un manche isolant. Il obtient une très-faible électricité qui, lorsqu'elle est sensible, se trouve être négative sur le zinc, positive sur le cuivre. — De l'eau ou une solution saline, substituée à l'alcool, produit exactement le même effet; les signes électriques sont toujours les mêmes, mais bien plus prononcés, quand le liquide est de l'acide sulfurique très-étendu.

L'auteur serait disposé à attribuer ce dernier effet à une altération des surfaces, produite par l'acide, plutôt qu'à l'action chimique même de cet acide. Et il en donne pour preuve que si, après avoir essuyé avec soin les surfaces des appendices qui ont été en contact avec l'acide, on les fait communiquer par un morceau de bois humecté d'eau, on a des signes électriques plus forts que ceux qu'on avait précédemment, avant que l'acide eût agi sur les surfaces métalliques. — Mais il est impossible de ne pas remarquer que, dans le second cas, les surfaces décapées par l'action de l'acide, sont beaucoup plus susceptibles d'être attaquées par l'eau, que lorsqu'elles sont recouvertes de la couche d'oxide qui résulte pour elles de leur exposition prolongée à l'air.

Mr. Belli, après quelques considérations théoriques sur les résultats de cette deuxième expérience, ajoute qu'il faut nécessairement admettre que le contact immédiat de deux conducteurs solides dissemblables produit la rupture de l'équilibre électrique, tandis que le contact de ces deux conducteurs par l'intermédiaire d'un conducteur liquide rétablit cet équilibre. En preuve de ces assertions, Mr. Belli rappelle plusieurs expériences de Mr. Marianini; mais je pourrais facilement invoquer, à mon tour, contre ces mêmes assertions, les expériences

nombreuses de Mr. Péclet, que j'ai rapportées plus haut, et qui toutes tendent à prouver, contrairement à ce qu'affirme Mr. Belli, d'après ses propres recherches et celles de Marianini, que le contact des liquides et des métaux développe une électricité bien plus forte que le contact des métaux entre eux.

3me *Expérience.*

L'auteur enveloppe l'appendice de zinc du plateau zinc d'une petite feuille d'étain ou de plomb, et il établit la communication entre cette feuille d'étain ou de plomb et l'appendice de cuivre, au moyen d'un corps humide. Il trouve, après avoir enlevé ce conducteur humide et avoir séparé les deux disques, que le plateau zinc s'est chargé d'électricité positive, et le plateau cuivre de négative. Ce devrait être l'inverse dans la théorie chimique, puisque l'étain et le cuivre sont seuls exposés à l'action chimique du liquide, et que l'étain, plus attaqué que le cuivre, doit prendre l'électricité négative et la transmettre au plateau de zinc, tandis que la positive passe au cuivre.

Remarquons sur cette dernière expérience que M. Belli, par son mode de procéder, ne trouve, en général, qu'une très-faible électricité, quand il met en contact un liquide avec un conducteur métallique. Cela tient probablement à ce qu'il emploie un morceau de bois humecté du liquide au lieu du liquide lui-même, ce qui fait que le corps humide est très-mauvais conducteur. Dès lors il n'est pas étonnant que l'étain ou le plomb, mis en communication avec le cuivre, ne donnent qu'une électricité presque nulle. — D'un autre côté, la surface du disque de zinc est exposée à l'action oxidante de l'air qui continue à rendre le zinc positif, comme nous l'avons expliqué plus haut en citant, à cet égard, les raisonnements mêmes du savant physicien italien. Et si ce dernier effet l'emporte sur le premier, les signes électriques seront tels que l'auteur les a observés.

En résumé, les recherches de Mr. Belli, surtout si on les rapproche de celles de Mr. Péclet, ne me paraissent point de

nature à attaquer sérieusement la théorie chimique. — L'absence de vernis sur les deux surfaces du disque de zinc également, l'exposition à l'air de ces deux surfaces qui sont décapées avec soin et bien polies, sont des circonstances qui, dans les expériences de Mr. Belli, sont tout à fait favorables au développement de l'électricité par l'oxidation opérée par l'air; tandis que la manière dont ce même savant applique l'emploi des conducteurs liquides, est éminemment défavorable à la production de l'électricité par l'action de ces conducteurs. C'est précisément l'inverse dans les expériences de Mr. Péclet; aussi les résultats en sont tout à fait opposés à ceux qu'obtient Mr. Belli. En d'autres termes, l'un, Mr. Péclet, trouve une grande supériorité dans les effets électriques de tension qu'on produit en employant les liquides, sur ceux qu'on obtient sans les employer; l'autre, Mr. Belli, trouve des signes électriques presque nuls quand il opère avec les liquides, tandis qu'il obtient des effets très-prononcés par le simple contact métallique sans liquide.

Voilà donc deux partisans de la théorie du contact qui arrivent à des conséquences complétement opposées. Il n'y a qu'un moyen de les mettre d'accord, c'est de rappeler que la théorie chimique peut seule concilier ces résultats qui, envisagés sous ce point de vue, ne sont plus alors contradictoires.

SUR UN MOYEN NOUVEAU DE FAIRE VARIER A VOLONTÉ LA SENSIBILITÉ DES GALVANOMÈTRES ASTATIQUES, ET DE LA RENDRE AUSSI PARFAITE QUE LE COMPORTE LA NATURE DES MÉTAUX EMPLOYÉS DANS LEUR CONSTRUCTION, par M. MELLONI. (*Communiqué par l'auteur.*)

Pendant mon dernier séjour à Paris, je fis construire, par différents fabricants de cette capitale, plusieurs galvanomètres multiplicateurs à deux aiguilles, d'après la méthode de Nobili. Ces instruments sont, à mon avis, d'un transport tout aussi difficile que les baromètres, qui ne manquent jamais de se briser, quelle qu'en soit la façon, toutes les fois que vous les confiez, en voyage, à des mains mercenaires. Aussi, malgré l'assurance contraire des personnes chargées d'expédier mes galvanomètres à Naples, je ne fus nullement surpris de trouver, à mon arrivée, la sensibilité de mes systèmes d'aiguilles tout à fait perdue. Généralement, les montures étaient bien conservées : voilà l'important pour moi, car je comptais sur *mon adresse* pour redonner aux systèmes leur astaticité primitive. C'est bien le cas de dire que *j'avais compté sans mon hôte*, car la main se montra on ne peut plus maladroite dans mes efforts pour remettre en équilibre les deux forces magnétiques : la désaimantation de l'aiguille plus intense réussissait d'abord, jusqu'à un certain point; puis je dépassais le but, la différence se reproduisait en sens contraire, et presque toujours renforcée.... Enfin, après plusieurs jours d'essais et de patience, je tombai, par hasard sans doute, sur une combinaison si parfaite que les aiguilles se plaçaient perpendiculairement aux fils métalliques, en faisant circuler le moindre courant dans les replis du galvanomètre; en sorte qu'il n'y avait plus moyen de distin-

guer un courant fort d'un courant faible. — Voilà donc mon instrument devenu défectueux par excès de sensibilité. Fallait-il le réduire en touchant au magnétisme des aiguilles? C'était vouloir s'exposer de nouveau à toutes les mauvaises chances encourues déjà : je laissai donc au système astatique toute sa mobilité, en me réservant de modérer, par d'autres moyens, la sensibilité excessive du galvanomètre sous l'action des forces électro-dynamiques. D'abord, je commençai par interposer des obstacles sur la route du fluide électrique; j'allongeai graduellement le circuit extérieur, j'y ajoutai successivement diverses alternatives de conducteurs hétérogènes; le but de diminuer à un degré quelconque l'effet trop prononcé des courants, fut bientôt atteint. L'instrument conservait, toutefois, deux imperfections très-marquées : premièrement, les oscillations des aiguilles abandonnées à l'influence du magnétisme terrestre se faisaient avec tant de lenteur qu'il fallait une patience à toute épreuve pour placer exactement l'index sur le zéro du cadran; en second lieu, la position d'équilibre des aiguilles changeait à chaque instant, soit par l'influence des variations hygrométriques sur la torsion du fil de suspension, soit par les variations photométriques et calorifiques agissant avec une intensité différente sur l'aiguille découverte et sur celle qui est abritée par le châssis.

Je repris alors la question et je ne tardai pas à m'apercevoir de la fausse route que j'avais suivie. En effet, il est indubitable que la trop grande sensibilité de l'instrument provient d'un *excès de force,* lorsque le courant circule dans le galvanomètre; mais, le courant arrêté, il est tout aussi évident que la grande lenteur des oscillations du système dérive d'un *excès de faiblesse* dans l'action qui le rappelle au zéro : en mettant des entraves à la marche du fluide électrique, on corrige, sans aucun doute, le premier défaut, mais on laisse le second dans le même état. Pour bien faire, il faudrait donc augmenter légèrement la force directrice du système astatique, livré à lui-

même, et diminuer en même temps l'action trop vive du courant électrique; de plus, il faudrait atteindre ces deux buts sans toucher au système astatique, dont la grande perfection est si difficile à obtenir et si facile à perdre, comme nous le faisions remarquer tantôt. Cette courte analyse me mit sur la voie de la véritable solution du problème.

Imaginons un barreau aimanté horizontal, dont l'axe soit placé dans le même azimut où un système d'une grande astaticité se tient immobile, et précisément sur la direction de la ligne intermédiaire entre les deux aiguilles; ce barreau se trouvera également éloigné des pôles conjugués, et le système astatique, sollicité par deux forces égales et opposées, conservera son état de repos. Supposons maintenant que le barreau, toujours dans le plan des aiguilles, soit hors de la ligne mitoyenne, en sorte que son extrémité antérieure se trouve plus rapprochée de l'aiguille aimantée en sens contraire : l'équilibre magnétique sera aussitôt troublé, le système plus fortement attiré vers le zéro, et ses oscillations accélérées. Or, comme on peut rapprocher ou éloigner le barreau avec une lenteur extrême, et l'arrêter dans une position quelconque, rien ne sera plus aisé que de communiquer tout juste aux aiguilles le surcroît de vitesse convenable; alors le système, attiré plus fortement vers le zéro du cadran, deviendra évidemment moins sensible à l'action des courants électriques et aux vicissitudes de l'atmosphère.

L'application de cette méthode réussit à merveille, et mon galvanomètre, corrigé de sa trop grande excitabilité, de la lenteur des oscillations, et des incertitudes du zéro, conserva une dose suffisante de sensibilité, et acquit toutes les qualités requises dans ces sortes d'instruments.

Ne serait-il pas possible maintenant de résoudre, au moyen d'un artifice analogue, la question inverse? Ne pourrait-on pas obtenir, en d'autres termes, la compensation d'un couple d'aiguilles à forces magnétiques trop inégales, par l'action exté-

rieure d'un barreau aimanté? Après ce qui précède la question ne saurait être douteuse.

Supposons, en effet, un galvanomètre à système astatique mal compensé, et oscillant, par cela même, avec une trop grande vitesse autour de sa position d'équilibre. Pour rendre l'instrument plus sensible, il suffira de placer extérieurement un barreau compensateur, en sorte que son action, sur l'un des pôles homologues du système, soit prédominante; ce qui communiquera nécessairement à la partie mobile une répulsion plus ou moins grande, et diminuera d'autant l'intensité de la force qui le rappelle au zéro.

Impatient de vérifier ma déduction par l'expérience, j'ôtai du magnétisme à l'une des aiguilles d'un bon galvanomètre, qui fut réduit, par ce moyen, à cinq ou six oscillations par minute; un courant thermo-électrique d'un couple cuivre et bismuth, excité par la chaleur de la main et transmis par un long fil de fer, ne produisait plus sur ce galvanomètre que 2° de déviation. J'interrompis le circuit, j'attendis que le système abandonné à lui-même se plaçât exactement sur le zéro du cadran, et j'approchai ensuite, au-dessus des aiguilles, un barreau aimanté, fixé sur un soutien mobile, en ayant soin de tenir son axe dans le plan du zéro, et de tourner d'abord vers l'appareil le pôle homologue à l'extrémité antérieure de l'aiguille indicatrice, qui surpassait en puissance magnétique celle qui était logée dans l'intérieur du châssis : à mesure que l'on poussait le barreau vers l'instrument, on voyait les oscillations des aiguilles se ralentir; l'opération fut suspendue lorsque le système, écarté de 15° à 20° du zéro et abandonné à lui-même, ne faisait plus qu'une seule oscillation par minute. Je mis alors mon galvanomètre à l'épreuve, et je trouvai sa sensibilité tellement améliorée que le même courant thermo-électrique, qui donnait tantôt une déviation de 2°, poussait maintenant les aiguilles à 37°.

Notre procédé peut donc s'appliquer au cas direct, où il

faut diminuer la sensibilité excessive des galvanomètres, et au cas inverse, où il s'agit d'améliorer ces instruments doués de systèmes astatiques imparfaits. Il y a, cependant, une distinction importante à faire entre ces deux applications : la possibilité de modérer l'action trop vive est, pour ainsi dire, indéfinie, car en prenant un barreau suffisamment énergique et en le plaçant très-près des aiguilles, on pousse l'opération aussi loin qu'on le désire; mais le perfectionnement a une limite dépendante du degré de compensation stable que possèdent les systèmes astatiques.

Pour concevoir nettement la raison de ce dernier fait, remarquons d'abord que, dans l'usage du galvanomètre, il devient quelquefois nécessaire d'employer la presque totalité du cadran : de là la nécessité que l'index, écarté de 50° à 60° et abandonné à lui-même, revienne au zéro par l'action du magnétisme terrestre. D'un autre côté, la force motrice que le barreau exerce sur le système astatique, provient de la différence entre les réactions des deux aiguilles : on peut donc faire abstraction des deux forces qui se neutralisent, et ne considérer que l'aiguille où réside leur différence, à savoir l'aiguille la plus voisine du barreau; mais la force répulsive de celui-ci n'est pas constante; elle change évidemment avec la position angulaire de l'aiguille, et diminue à mesure que la déviation augmente, parce qu'il y a éloignement du pôle homologue et rapprochement du pôle contraire; si le barreau aimanté est placé tout près du galvanomètre, le rapport de ses deux distances aux extrémités de l'aiguille active varie si rapidement pendant le mouvement rotatoire, que la force répulsive se change presque aussitôt en force attractive, l'action de la terre est vaincue, et le système renversé. Pour empêcher ce renversement, qui ôterait la possibilité d'employer les divisions supérieures du galvanomètre, il faut donc tenir le barreau éloigné, et abandonner forcément l'opération à une certaine distance. Mais si on avait une série de galvanomètres, plus ou

moins délicats, et qu'on voulût les réduire tous au même degré de sensibilité, on devrait évidemment approcher d'autant plus le barreau compensateur, que le système astatique serait moins parfait; donc l'amélioration possible à obtenir, dépendra de la sensibilité du galvanomètre, et s'approchera d'autant plus de l'état de perfection que les aiguilles auront un degré de compensation plus élevé.

Une aiguille aimantée, suspendue toute seule, peut être accouplée par la pensée à une aiguille inerte, et considérée, par cela même, comme un système doué de la moindre astaticité possible : voilà pourquoi notre procédé ne vaut rien, étant appliqué aux galvanomètres de Poggendorff, de Marianini, ou à tout appareil analogue dépourvu de forces magnétiques agissant en sens contraire sur la partie mobile de l'instrument.

Dans cette comparaison de l'état de perfection plus ou moins grande, où l'on peut réduire les galvanomètres astatiques doués de différents degrés de sensibilité, on suppose tacitement que le barreau compensateur ne change pas. Mais si on emploie des compensateurs différents, il est évident que deux galvanomètres inégaux en sensibilité pourront éprouver, à égales distances, une répulsion magnétique égale, et devenir ainsi susceptibles du même perfectionnement.

Les dimensions des deux aiguilles du système, leur état d'aimantation, la distance qui les sépare, la longueur, l'épaisseur, la force magnétique et la direction du barreau compensateur, constituent autant d'éléments qui exercent une influence plus ou moins grande sur le degré de sensibilité que l'on peut communiquer aux galvanomètres astatiques, et il sera indispensable de les prendre en considération lorsqu'on voudra établir la théorie générale de ces actions, et la meilleure manière possible d'obtenir l'effet cherché de l'astaticité. Mais sans entrer dans les développements nécessaires à la solution d'un problème aussi difficile, je ferai remarquer que les perfectionnements suggérés par la théorie ne pourraient rien ajouter à

l'efficacité de l'application; car toute espèce de barreau compensateur, appliqué avec quelques légères précautions, suffit pour développer un degré de perfectionnement qui surpasse presque toujours *la portée* du galvanomètre soumis à l'épreuve. Je vais m'expliquer plus clairement.

Lorsque la compensation produite au moyen du barreau arrive à un certain degré, on voit ordinairement l'index, qui se tenait d'abord au zéro, en sortir toutes les fois qu'on veut l'amener sur ce point, et prendre diverses positions d'équilibre, où il reste, pour ainsi dire, *cloué* pendant que l'on fait tourner le châssis d'un certain nombre de divisions; des *centres d'attraction latente* existent donc dans l'instrument, et ils ne deviennent sensibles qu'à un certain degré de perfection du système astatique. C'est vraiment curieux de voir jusqu'à quel point grandissent ces forces microscopiques par l'influence du barreau compensateur; on dirait que le cuivre, le laiton, l'argent le plus affiné, qui forment le cadran, le châssis et le fil du galvanomètre, sont remplis de particules ferrugineuses; mais la perfection du système astatique est alors surabondante, et on doit nécessairement la diminuer par un éloignement convenable du compensateur. Il est donc indubitable que la compensation dérivant d'un barreau quelconque surpasse presque toujours, comme je l'ai avancé tout à l'heure, la *portée de l'instrument*.

La limite de sensibilité de chaque galvanomètre peut être atteinte avec des aimants de toute dimension; néanmoins, je crois utile et commode de donner aux barreaux compensateurs deux décimètres environ de longueur, et cinq ou six millimètres de diamètre. Après avoir fixé un de ces barreaux sur un soutien muni d'une charnière et d'un tube rentrant, il faut l'approcher lentement du galvanomètre, en sorte que son axe soit dirigé, à 45° environ d'obliquité, sur l'un des pôles de l'aiguille prédominante. Lorsque le système se renverse par une déviation de 50° à 60°, l'on s'arrête et on revient ensuite doucement sur

ses pas jusqu'à ce que le renversement n'ait plus lieu. Si alors les aiguilles se tiennent sur le zéro, on a atteint le plus haut degré possible de compensation; dans le cas contraire, il faut éloigner davantage le soutien, afin de retrouver tout juste la limite où les perturbations du fil métallique et du cadran commencent à devenir *latentes*. Au delà de cette limite on obtient des combinaisons qui rendent le système astatique de moins en moins sensible.

Une des conditions les plus importantes à satisfaire dans l'application de notre procédé est de maintenir le zéro de la division dans la position d'équilibre où se plaçait naturellement le système astatique avant l'intervention du compensateur. L'index et la ligne du zéro seraient toujours superposés si les axes magnétiques du barreau et des aiguilles ne sortaient pas d'un seul et même plan vertical; mais comme il est presque impossible de ne pas séparer, pendant l'opération, l'azimut du compensateur de celui qui renferme la résultante des forces magnétiques des deux aiguilles de l'instrument, il faut ramener à chaque instant l'index sur le zéro de la graduation, en faisant tourner doucement le soutien autour de son axe vertical, ce qui imprime aux extrémités du compensateur une légère translation droite ou gauche qui, avec un peu d'adresse, est éminemment propre à atteindre le but proposé.

Il va sans dire que les rapports entre les arcs parcourus par l'index du galvanomètre et les forces de déviation, subissent une altération considérable sous l'influence du compensateur, et qu'à chaque position stable de ce barreau aimanté il devient indispensable de les déterminer de nouveau, par les moyens connus de la *Galvanométrie*, si on veut avoir, avec toute la précision convenable, les intensités relatives des courants transmis.

A propos de ces variations, j'observerai que l'influence du barreau, dans le cas où il s'agit de modérer la trop grande sensibilité du galvanomètre, produit une altération contraire à celle qui a eu lieu dans le cas opposé, où il faut rendre l'instru-

ment plus sensible. En effet, la progression croissante des différences entre les forces et les arcs correspondants, devient plus divergente si on rend le système moins astatique, et plus convergente dans le cas opposé; et fort heureusement l'une et l'autre variation rentrent, pour ainsi dire, dans le but que l'observateur se propose en changeant le degré de sensibilité de son instrument.

Malgré les limites dont nous parlions tantôt, les modifications de sensibilité que l'on peut communiquer à un galvanomètre astatique, par le moyen du barreau compensateur, sont encore immenses. Quant au perfectionnement, nous avons vu qu'on peut le porter à un très-haut degré. Cette faculté, mise à la portée de tout le monde, de pouvoir découvrir avec un galvanomètre commun la présence de forces électro-dynamiques excessivement faibles, et de mesurer ensuite, sur le même instrument, des courants électriques doués de toutes sortes d'énergie, ne sera peut-être pas sans quelque utilité pour la science.

Je terminerai par un exemple tiré d'une branche de la physique, dont les progrès récents proviennent, en grande partie, de l'emploi des galvanomètres astatiques.

J'ai dit, dans plusieurs circonstances, que lorsqu'il s'agit de chaleur rayonnante, le thermo-multiplicateur doit être préféré à toute autre espèce d'instruments thermoscopiques, parce qu'il les surpasse tous, à mon avis, soit pour la sensibilité, soit pour la promptitude, soit pour la netteté des indications. Cependant on se tromperait beaucoup si on pensait qu'il convient d'employer constamment le thermo-multiplicateur, porté à son plus haut degré de délicatesse : bien au contraire, l'excès de sensibilité est toujours gênant, et même nuisible; car le temps nécessaire aux aiguilles pour retourner au zéro, lorsqu'on supprime l'action de la chaleur sur la pile thermo-électrique, augmente avec l'astaticité du système, en sorte que si on a un galvanomètre trop sensible pour les actions que l'on

étudie, il devient avantageux de se débarrasser du surplus de sa sensibilité, qui retarderait, en pure perte, la marche des démonstrations expérimentales, et qui les rendrait souvent inconcluantes par excès de temps. Voilà pourquoi j'avais l'habitude d'employer trois combinaisons thermo-électriques dans mes recherches sur les radiations de la chaleur : la plus exquise pour la polarisation, la moins délicate pour la transmission, et celle qui était douée d'une sensibilité intermédiaire pour la diffusion. Depuis que j'ai trouvé le procédé de compensation, indiqué dans cet écrit, je me sers d'une seule pile et d'un seul galvanomètre, libre pour la diffusion, à oscillations ralenties pour les cas de polarisation, et à oscillations accélérées dans les expériences de simple transmission.

DESCRIPTION D'UN THERMOMÈTRE ÉLECTRIQUE, par Solly.

(*Lond. and Ed. Phil. Mag.*, novembre 1841.)

Pendant longtemps j'avais eu beaucoup de peine à exécuter certaines expériences qui demandaient un degré de chaleur soutenu et uniforme ; cela était dû à la difficulté de régler la température de mon fourneau, et à l'incertitude constante dans laquelle j'étais sur sa marche pendant mon absence. Je m'étais donc souvent demandé s'il serait possible d'arranger un petit appareil thermo-électrique qui pût, par la déviation d'un galvanomètre éloigné de la source de chaleur, m'indiquer le degré de la combustion, et, par conséquent, la chaleur du fourneau. Une petite pile thermo-électrique peut être placée de telle manière qu'une série des soudures soit constamment exposée à la surface chauffée du fourneau ; mais il se présentait à tout ar-

rangement de ce genre un sérieux obstacle, c'était la difficulté de maintenir froides les soudures ou jointures alternatives de la pile. Un courant électrique se dégagerait sans doute, à cause de la différence de température qui existe entre les deux côtés de la pile; mais aussi, comme la chaleur passerait graduellement de la partie chaude à la partie froide, cela diminuerait et modifierait beaucoup les résultats, et l'on n'aurait ainsi que de fausses indications pour la température, puisque, lors même qu'il serait possible de maintenir froid un des côtés de la pile, soit par de l'eau, soit par quelque autre moyen, la valeur de la déviation du galvanomètre serait toujours incertaine, la différence entre les deux côtés de la pile ne pouvant jamais être déterminée à moins que la réduction de la température ainsi produite ne fût exactement connue.

Après une ou deux tentatives infructueuses pour vaincre cet obstacle, je laissai la pile de côté et substituai à sa place une seule paire d'éléments métalliques, qui me donna un pouvoir plus que suffisant, et qui n'était pas sujet au défaut que présentait la pile.

Un morceau de fil de cuivre de $\frac{1}{24}$ de pouce de diamètre, et d'une longueur suffisante pour arriver du fourneau jusqu'à ma chambre de travail, fut joint par torsion à un fil de fer doux de même diamètre, les extrémités de ces deux fils ayant été préalablement bien décapées avec du papier de verre. Les deux fils ont été alors assujettis convenablement, au moyen de petits clous, aux murs des chambres qu'ils devaient traverser, et l'on a bien fait attention qu'ils ne fussent nulle part en contact l'un avec l'autre, excepté aux deux points de jonction extrêmes. L'une de ces jointures fut placée dans le fourneau de manière à être complétement exposée à l'action de l'air chaud et de la fumée, à l'endroit même où le tuyau quitte le corps du fourneau, tandis que l'autre jointure était dans ma chambre, en contact avec un thermomètre, et entourée de coton de manière à la garantir, le plus possible, des changements subits de tem-

pérature. Le fil de cuivre fut coupé à un pied environ de distance de la jointure ainsi protégée ; et les deux bouts du fil furent mis en communication avec les extrémités d'un galvanomètre; l'appareil était alors complet.

On avait ainsi construit un circuit formé de deux éléments, l'un le fil de fer, l'autre le fil de cuivre, plus la longueur additionnelle de ce dernier pour arriver au galvanomètre. L'une des jointures ou l'un des points de contact était donc toujours beaucoup plus chaud que l'autre, et devait rester tel, aussi longtemps que le combustible du fourneau continuerait à brûler; sa température devait donc dépendre du degré de combustion obtenu dans le fourneau; tandis que l'autre jointure resterait toujours à une température très-rapprochée de celle de l'air, et ses variations seraient aisément connues au moyen du thermomètre en contact avec elle. On produit ainsi un courant électrique proportionnel à la différence de température qui existe entre les jointures, et il s'opère au galvanomètre une déviation qui augmente lorsque le fourneau devient plus chaud, qui diminue lorsqu'il est moins chaud, et indique exactement, à chaque instant, les changements de température : c'est une espèce de thermomètre qui, sans que l'on ait à bouger de sa table, indique le degré exact de combustion du fourneau, lequel, dans mon expérience, se trouvait placé à environ 50 aunes de distance. On suppose communément que les courants thermo-électriques faibles ne peuvent pas traverser facilement des fils minces d'une certaine longueur; et c'est probablement la raison pour laquelle ce pouvoir, si facile à manier, a été si rarement appliqué à des usages pratiques. Mais j'ai été, pour ma part, si satisfait de l'arrangement décrit ci-dessus, que je suis convaincu qu'il deviendrait un indicateur très-utile pour la température des poêles, des tuyaux de cheminée, des tubes chauds, dans diverses situations auxquelles le thermomètre ordinaire est inapplicable.

Le prix d'un appareil semblable est nécessairement plus

élevé que celui d'un thermomètre ; mais il faut se rappeler qu'il va plus loin que le thermomètre ordinaire, puisqu'il nous donne le moyen de connaître la température d'un poêle ou d'un fourneau, à distance, et avec plus de certitude, plus de netteté et plus de rapidité qu'un thermomètre ordinaire, placé contre les parois extérieures. J'ai observé, en comparant l'instrument thermo-électrique avec un thermomètre ordinaire placé sur la plaque de fer qui forme le haut du fourneau, que si l'on diminue le courant d'air en fermant la porte du cendrier ou par quelque autre moyen, la déviation du galvanomètre diminue immédiatement, tandis que le thermomètre extérieur continue encore à monter pendant quelque temps ; et que les indications données par le galvanomètre pour l'augmentation ou le décroissement de la température du fourneau, précèdent toujours les indications correspondantes du thermomètre à mercure placé en haut.

NOUVEAUX PERFECTIONNEMENTS DANS LE PROCÉDÉ DE DORAGE PAR VOIE GALVANIQUE.

Lorsque, au mois de mars 1840, je publiai les premiers essais que j'avais faits pour appliquer la force du courant voltaïque au dorage des métaux, je n'espérais pas que ce procédé arriverait si vite au point de perfection auquel il est parvenu entre les mains d'habiles praticiens.

Mr. Elkington en Angleterre, auteur d'un procédé de dorage purement chimique, a réussi, en combinant son procédé avec le mien, à obtenir des produits beaucoup plus parfaits que ceux qu'il obtenait précédemment. Mr. Ruolz, en France, a été bien plus loin encore, tant sous le rapport de la perfection du dorage que sous celui de la généralité du procédé, qu'il est parvenu à rendre propre à l'application de toute espèce de métaux, les uns sur les autres. C'est en remplaçant le chlorure d'or par des dissolutions d'or plus convenables, telles, par exemple, que le double chlorure d'or et de sodium dissous dans la soude, que Mr. Ruolz a rendu le procédé galvanique assez économique et assez parfait pour pouvoir être substitué avec avantage au dorage par le mercure. C'est de même par l'emploi de dissolutions métalliques appropriées à cet usage, que le même chimiste a réussi à appliquer, en couches plus on moins épaisses, les divers métaux les uns sur les autres. Nous donnerons dans notre prochain numéro le rapport intéressant que Mr. Dumas a fait sur ce sujet, à l'Académie des Sciences.

Nous publiererons également quelques travaux qu'ont faits récemment, sur ce même sujet, divers savants allemands, et

notamment Mr. Boettiger. On trouvera passablement d'analogie entre leur procédé et celui de Mr. Ruolz.

J'avais également employé le double chlorure d'or et de sodium avec quelque succès au printemps de 1840; mais comme l'industrie particulière s'était emparée de la découverte, j'avais renoncé à rien publier sur ce sujet et même à m'en occuper. J'avais, en effet, reconnu que la présence du sodium avait l'avantage de rendre la liqueur plus neutre et d'empêcher que le chlore libéré par la décomposition du chlorure d'or n'agît sur le métal à dorer et sur la première couche d'or déposée, action qui nuisait à l'adhérence parfaite des couches successives. — Mais l'idée de Mr. Ruolz, de dissoudre le double chlorure dans la soude, augmente singulièrement l'avantage important que je viens de signaler. De plus, la variété des applications qu'il fait du procédé galvanique montre l'avenir qui est réservé à cet emploi de la force voltaïque.

A. De la Rive.

ERRATA.

Article FARADAY : *De l'origine du pouvoir de la pile voltaïque* (nos 1 et 2 des *Archives*.)

	Pages.	Lignes.	
N° 1	98	19	*après* l'admet, *lisez* je ne l'admets pas à présent; seulement, etc.
—	101	10	d'en bas ; *après* des fils, *ajoutez* de platine.
—	103	14	d'en bas ; *au lieu de* très-bien, *lisez* bien.
—	107	1	*au lieu de* liés, *lisez* soudées.
—	107	2	*au lieu de* cuivre, *lisez* platine.
—	110	3	d'en bas ; *au lieu de* oxidé, *lisez* rouillé.
—	111	18	*au lieu de* admettre, *lisez* nier.
—	112	16	*au lieu de* nitrique *lisez* nitreux.
—	113	9	*au lieu de* nitrique *lisez* nitreux.
—	113	23	*au lieu de* toujours plongés, *lisez* immobiles.
—	119	13	*supprimez* et *et* qu'.
—	127	3	d'en bas ; *lisez* d'ailleurs il ne le pouvait pas ici ; pourquoi le pourrait-il dans, etc.
N° 2	346	17	*après* 16°., *lisez* Le mouvement etc.
—	346	18	*après* au platine, *ajoutez* à cet instant.
—	346	19	*lisez* et alors, *et plus loin* mais l'application etc.
—	347	3	d'en bas ; *après* positif, *ajoutez* quand j'ai fait usage d'une batterie voltaïque ; mais etc.
—	349	12	*au lieu de* essuie, *lisez* décape.
—	350	6	d'en bas ; *au lieu de* nitrique, *lisez* nitreux.
—	351	8	*supprimez* par exemple.
—	351	21	*au lieu de* venons de, *lisez* allons.
—	352	11	*après* potassium, *ajoutez* étendu.
—	353	7	*au lieu de* fer, *lisez* plomb.
—	354	4	d'en bas ; *après* électriques, *lisez* des circuits voltaïques à l'égard de l'action etc.
—	355	3	et 2 d'en bas ; *au lieu de* l'intensité, *lisez* la quantité.
—	357	13	*au lieu de* à l'argent froid, *lisez* au plomb chaud.
—	357	21	*au lieu de* au plomb chaud, *lisez* à l'étain froid.
—	359	8	*au lieu de* le métal, *lisez* l'acide.
—	364	9	*au lieu de* en un mot, *lisez* ou.
—	366	13	*après* faible., *lisez* Enfin j'ai employé etc.

Pages.	Lignes.	
N° 2 372	2 et 3	*au lieu de* s'appliquent également à, *lisez* sont confirmées par.
— 373	7	*au lieu de* la qualité, *lisez* l'amélioration.
— 376	8	d'en bas ; *au lieu de* si, *lisez* à mesure que.
— 377	13	et 12 d'en bas ; *lisez* sont actives au cathode et les autres à l'anode. Les supérieures etc.
— 380	4	*après* colonne, *ajoutez* du tableau suivant, etc.
— 384	8	d'en bas ; *au lieu de* des tubes, *lisez* deux tubes.
— 385	14	et 15 *au lieu de* voltaïque *lisez* chimique.
— 387	4	et 3 d'en bas ; *au lieu de* De l'oxide blanc, *lisez* Du carbonate.
— 388	17	*au lieu de* oxidé natif, *lisez* rouillé.
— 391	12	d'en bas ; *au lieu de* Lumming, *lisez* Cumming.
— 393	12	*après* passe, *ajoutez* du bismuth au rhodium et etc.
— 393	24	*après* décapée, *ajoutez* en apparence.
— 131	12	*au lieu de* la lime, *lisez* l'ongle.

N° 1 des *Archives*, page 275, ligne 3 *au lieu de* avril 1840, *lisez* mars 1840 [1].

N° 2 . . . . . La pagination des deux premières feuilles (19 et 20) doit être 281 à 312, *au lieu de* 381 à 412.

[1] *Bibl. Univ.*, février 1840 (vol. XXV), p. 407.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

Pages.

ectr

lectr

s.	
	o
d.	o
. nuages.	o
s nuages.	o
	o.
	o.
	o.
	o.
	o.
	o.
	o.
rt.	o.
	o.

é atmosphérique.

HEURES.	REMARQUES.
rt.	
uvert.	
ouvert.	
neige.	à 5 h. + 25°, à 6 h. + 17° calme, neige, à 7 h. o.
oreux.	à 4 h. + 30°, à 5 h. + 2° calme, vaporeux, à 6 h. o.
ieux.	à 4 h. + 5° calme, pluvieux, à 5 h. o.
e.	
e.	
ouvert.	à 10 h.+40°, 11 h.+25°, 1 h.+28°, 2 h.+17°, 4 h.+8°, 5 h.+4°, 6 h.+2°, 7 h.+7°.
air.	à 11 h.+13°, à 1 h.+27°, à 2 h.+25° à 4h.+4°, à 5 h.+7°.
rouillard.	
uie.	
rouillard.	
rouillard.	
rt.	
ouvert.	

tricité

9 heure
o. calme, quelque
+ 8° E. pluie.
o. calme, couvert.
o. S.O. clair.
+ 10° S.O. pluie.
o. N. éclaircies.
o. S.O. quelques n
o. O. vaporeux.
+ 20° S.O. pluie.
o. N.N.E. éclairci
o. calme, légères
o. N.N.E. quelque
o. N. fort, clair.
o. N.E. fort, clair.
o. S.O. vaporeux.
o. N.E. couvert.
o. N.E. couvert.
o. calme, nuageux.
o. O.S.O. nuageux



ectr

s.	o
ges.	o
	o
s.	o
rs.	o
	o
	o.
	o.
ges.	o.
	o.
	+
uages.	o.
	o.
	o.
	o.
	o.
	o.

Fig. 2.

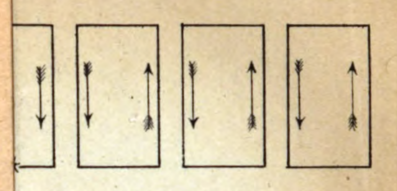


Fig. 4.

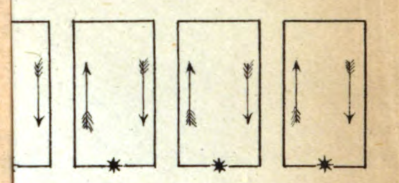
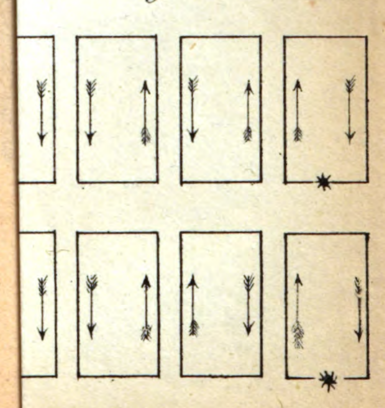
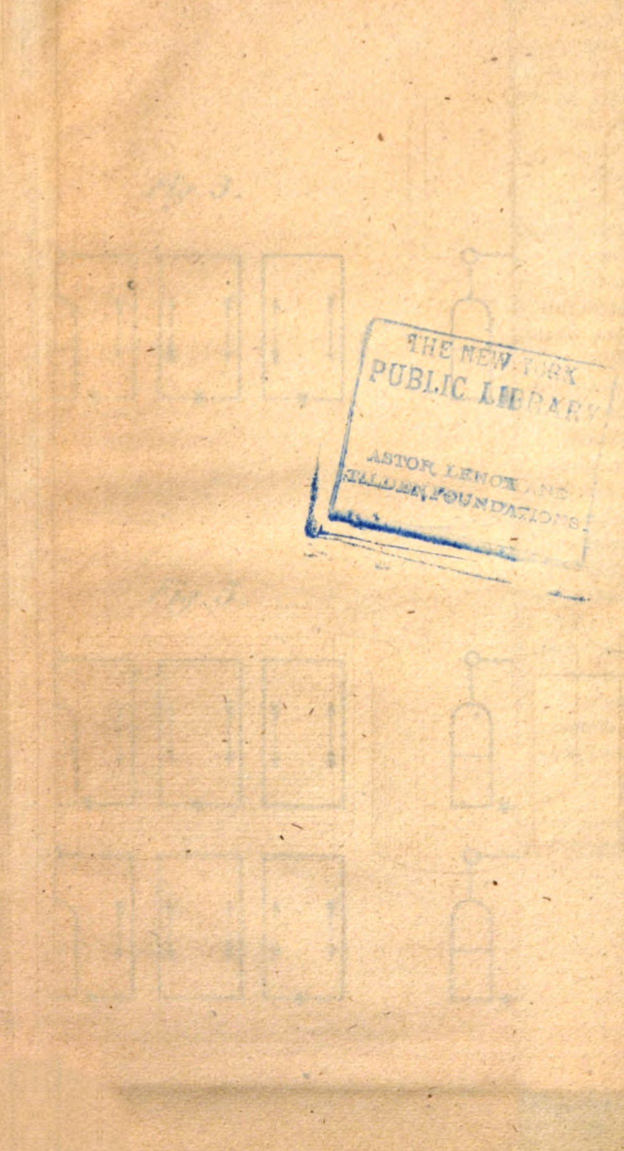
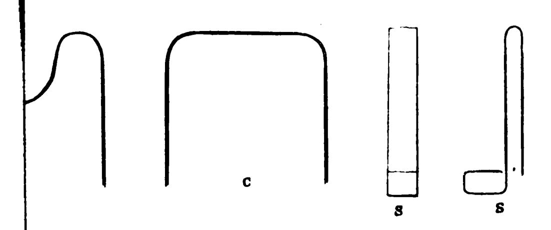
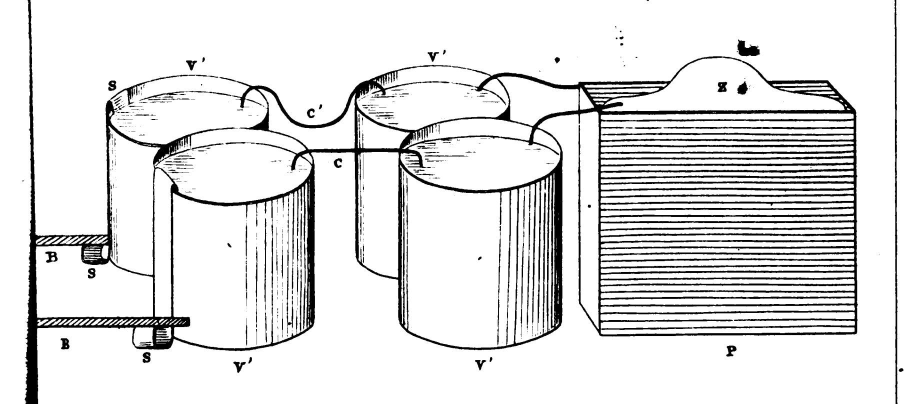


Fig. 6.



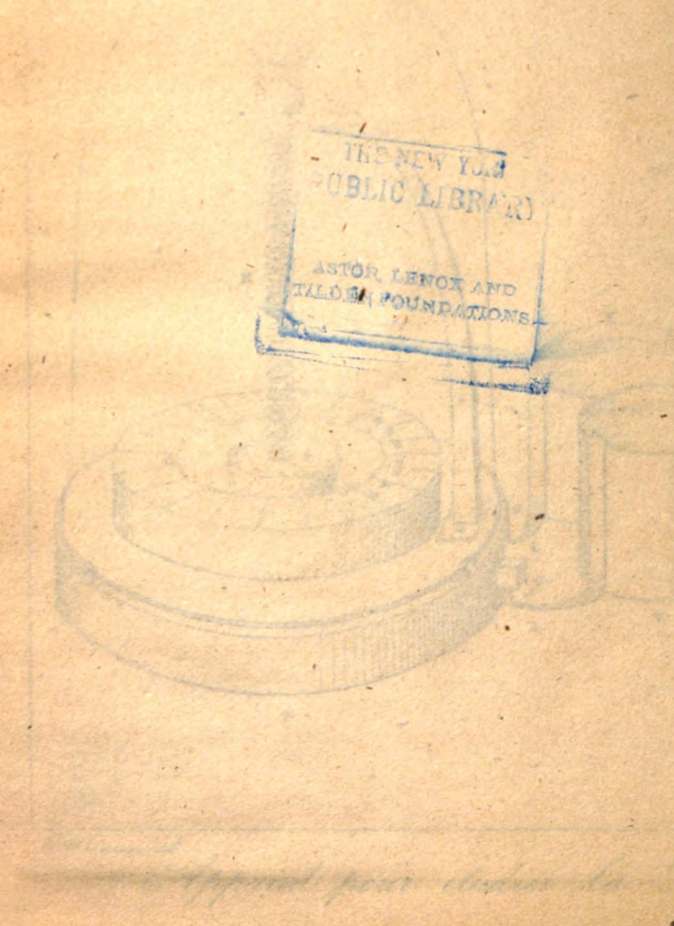






Millenet Sc.

ermansie électrique des couples métalliques.



Article de Mr. Vorsselman de Heer sur la Résistance que les courants électriques éprouvent à passer des conducteurs solides dans les liquides.

Annales de l'Electricité T. 1. N°3. p. 539.

